DAS VERHALTEN VON PFLANZEN IN VERSCHIEDEN-FARBIGEM LICHT

von

J. W. M. ROODENBURG (Aalsmeer).

(Mit den Tafeln VIII—XV).

INHALTSVERZEICHNIS.

EINLEITUNG.

Seit meinen ersten Untersuchungen bezüglich der Eignung verschiedener elektrischer Lichtquellen zur Pflanzenbestrahlung (1930) haben die Gasentladungslampen eine derart rasche praktische Entwicklung erlebt, dass es sich als notwendig erwies, immer wieder neue Lampen auf ihre Wirkung in dieser Hinsicht zu prüfen.

So war ein Vergleich der Niederspannungs-Neonröhren mit den modernen Quecksilber- und Natriumdampflampen, wie sie heutzutage zur Strassenbeleuchtung verwendet werden, erforderlich, da die Lichtausbeute dieser Lampen immer weiter erhöht wurde. Bisher hatte man bei normaler Treibhauszucht im Winter mit starkem *Neonlicht* die am kräftigsten entwickelten Pflanzen ziehen können (Roodenburg 1932, Reinhold 1935, Meurmann 1935, Funke 1936, 1937). Dieser Erfolg liess sich auch theoretisch aus der spektralen Zusammensetzung des Neonlichtes erklären (Abb. 1). Denn es zeigte sich, dass das Neonlicht, nach der Entwicklung der Pflanzen zu urteilen, in Bezug auf die Kohlensäureassimilation einen höheren Wirkungsgrad aufwies als das blaugrüne Quecksilberdampflicht. Für Natriumlicht konnte man, ebensowenig wie für Quecksilberlicht, theoretisch einen hohen Wirkungsgrad im Hinblick auf die Assimilation erwarten, da das gelbe Licht eine Wellenlänge hat (589 Millimikron), die ausserhalb derjenigen für grösste Assimilation (etwa 680 Millimikron) fällt. Trotzdem ist aus den verfügbaren Unterlagen über die Assimilation in gelbem Licht zu schliessen, dass diese im Natriumlicht immerhin noch 65 % von ihrem Höchstwert in rotem Licht betragen kann.

Will man nun bei der Pflanzenbestrahlung dennoch eine *Natrium*lichtquelle verwenden, so muss ihre Lichtausbeute so gross sein, dass der zu geringe Assimilationswirkungsgrad dadurch wieder wettgemacht wird. Tatsächlich erwies es sich bei der Entwicklung der Natriumlampen als möglich, eine beleuchtungstechnisch recht hohe Lichtausbeute zu erzielen. Das ist jedoch vor allem der Wellenlänge des Natriumlichtes zu verdanken, die nahe bei der maximalen Empfindlichkeit des menschlichen Auges (im Gelbgrün) liegt. Zur Wahrnehmung in künstlichem Licht ist dies natürlich von sehr wesentlicher Bedeutung, für die Pflanzen dagegen hat diese Eigenschaft überhaupt keinen Wert, da die Kohlensäureassimilation in gelbgrünem Licht am geringsten ist. So hat eine Beleuchtung mit Na-

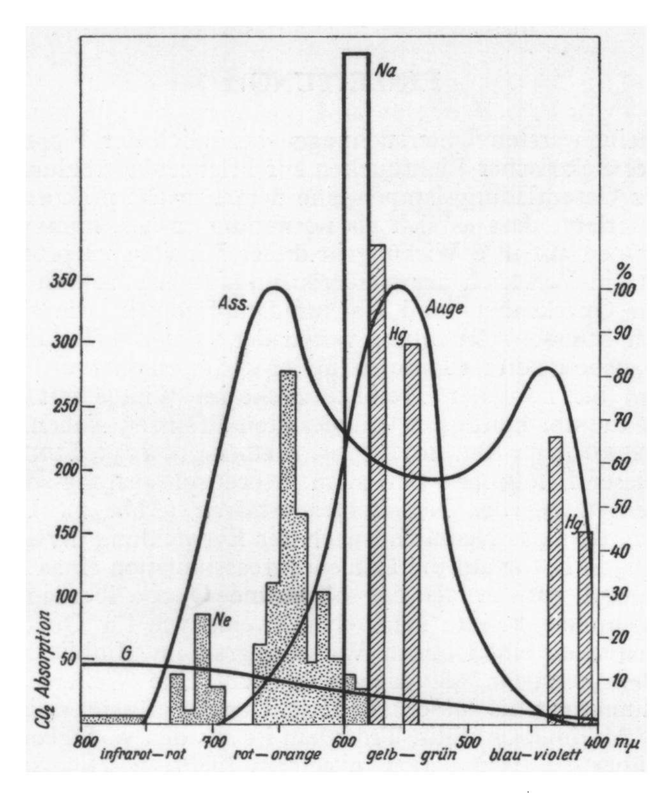


Abb. 1

Assimilationskurve (Ass) nach HOOVER (1937) für Weizen mit eingezeichneter Augenempfindlichkeit (Auge) und spektraler Energieverteilung von Neon (Ne, punktiert), Natrium (Na, weisz), Hochdruckquecksilber (Hg, schraffiert) und Glühlampe (G, kurve). Die Gesamtintensität der Strahlung zwischen 800 und 400 Millimikron ist für die vier Lampentypen gleich gewählt und wird durch den Flächeninhalt der Abbildungen dargestellt. Die Natriumlinie musste zweimal so breit wiedergegeben werden wie die Quecksilberlinien, um noch in die Abbildung aufgenommen werden zu können.

trium, die für das Auge von gleicher Stärke ist wie z.B. eine Beleuchtung mit Neonlicht, für die Pflanzen durchaus nicht dieselbe Bedeutung. Wollte man also diese Beleuchtungsstärken in Lux ausdrücken, so würde die Beurteilung der Bestrahlungswirkung falsch ausfallen. Die Einheit Lux ist eine physiologische Einheit, die lediglich für die visuelle Wahrnehmung massgebend ist. Beurteilt man jedoch die vorerwähnten Beleuchtungen nach ihrem Absolutwert, so muss man in Rechnung setzen, dass 1 Hefnerlux Neonlicht einen Energiewert von 6,7 erg je sec. und cm^2 hat, gegenüber einem solchen von 1,8 erg/sec. cm^2 für Natriumlicht. Will man also Neon- und Natriumlicht richtig miteinander vergleichen, so muss man den Pflanzen, nach optischem Massstab gerechnet, $\frac{6,7}{1,8} = 3,7$ mal soviel Natriumlicht geben, während die absolute Energie der *sichtbaren* Strahlung dann gleich ist. Verfährt man in dieser Weise, so wird die Assimilation in Natriumlicht nicht soviel schwächer ausfallen als in Neonlicht, da im letzteren Licht der Assimilationswirkungsgrad ja auch nicht 100 % beträgt, sondern nach roher Berechnung 80 %.

Zwecks Durchführung zuverlässiger Versuche muss man sich obiges gut vergegenwärtigen. Bei meinen älteren Versuchen, bei denen es sich hauptsächlich noch um den Vergleich zwischen Neon- und Glühlampenlicht handelte, durfte die optische Messung der Beleuchtungsstärken in Lux unbedenklich benutzt werden. Da der Energiewert von 1 Hefnerlux Glühlampenlicht etwa 6,3 erg/sec. cm^2 beträgt, ist der Unterschied gegenüber Neonlicht nicht gross und konnte der Vergleich ohne weiteres auf Lux gegründet werden.

Die Kohlensäureassimilation ist jedoch nicht der einzige Vorgang, der berücksichtigt werden muss. Zunächst hängt sie mit der Lichtabsorption durch die Blätter und mit den Öffnungsbewegungen der Spaltöffnungen zusammen, die je nach der verwendeten Pflanzenart noch verschieden sein können. Weiter hat sich bei der Untersuchung von Anbeginn an der Einfluss des Lichtes auf das Streckungswachstum als recht bedeutsam erwiesen, zumal der Einfluss der Tageslänge mit einbezogen wurde. Bei der Beurteilung der Wirkung von Natriumlicht muss man auch diese Fragen im Auge behalten.

Im Hinblick auf den formativen Einfluss blauen Lichtes war es noch von grosser Bedeutung, auch das *Quecksilberlicht* hinsichtlich seiner Wirkung näher zu untersuchen. Hier gelten dieselben Erwägungen wie beim Natriumlicht. Die Lichtstärke der Quecksilberröhren, die uns vor zehn Jahren zur Verfügung standen, war so gering, dass man damit (ohne Tageslicht) nur mit Mühe Pflanzen am Leben erhalten konnte. Für praktische Anwendung kam das Quecksilberlicht denn auch überhaupt nicht in Frage. Wir verfügten damals nur

über Niederdruck-Quecksilberlampen. Viel günstiger gestaltete sich jedoch die Lage, als die Hochdruck-Quecksilberlampen mit ihrer viel grösseren Lichtausbeute eingeführt wurden. Auch hier darf man sich indessen durch die günstigen Sichtbarkeitsverhältnisse des grüngelben Teiles des Spektrums nicht irreführen lassen; denn 1 Hefnerlux Hochdruck-Quecksilberlicht hat einen Energiewert der sichtbaren Strahlung (von 579,1 bis 435,8 Millimikron) von nur etwa 2,7 erg/sec. cm^2. Der niedrige Assimilationswirkungsgrad macht es erforderlich, bei der Pflanzenbestrahlung mit Quecksilberlicht die Beleuchtungsstärke wiederum hoch zu wählen.

A. LITERATURBESPRECHUNG.

Bei der Beeinflussung des Wachstums von Pflanzen durch künstliches Licht bestehen hinsichtlich der Frage, welche spektrale Zusammensetzung dieses Licht haben soll, vier wichtige Gesichtspunkte. Diese sind:

1. die Förderung der Kohlensäureassimilation;
2. die Herbeiführung des Auswachsens schon vorhandener Pflanzenteile (Treiben mit infraroten Strahlen);
3. die Verlängerung der täglichen Lichtdauer zwecks Erzielung von Langtagswirkungen;
4. die Regelung des Habitus durch blauviolette Strahlen.

An Hand dieser Einteilung soll im folgenden das einschlägige Schrifttum besprochen werden.

Kohlensäureassimilation.

Während meiner Untersuchungen über die Wirkung von Natrium- und Quecksilberlicht erschienen in der Literatur verschiedene Mitteilungen, die sich auf diesen Gegenstand bezogen. So beschrieb REINAU (1934) einen vorläufigen Versuch mit Neon-, Natrium- und Glühlampenlicht als Zusatzbelichtung bei Gartenkresse, wobei die geerntete Menge der Blattmasse betrug: Neonlicht 138 %, Natriumlicht 111 %, Glühlampenlicht 96 %! Kontrolle 100 %. Die Zuverlässigkeit dieses Versuches ist offenbar nicht gross. Es wurde während fünf bis sechs Stunden je Nacht mit 300 Lux bestrahlt, eine Beleuchtungsstärke, die schon für Neonlicht reichlich niedrig ist. Bezüglich des Natriumlichtes wurde also von vornherein der Fehler begangen, auf den in der Einleitung hingewiesen wurde, nämlich dass eine gleiche Dosis in Lux verabreicht wurde, deren

absoluter Energiewert nur $\frac{1}{3,7}$ desjenigen von Neonlicht beträgt. Der Eindruck dieses Versuches ist denn auch der, dass ausser dem Neonlicht die übrigen Lichtarten infolge einer zu geringen Stärke keinen wirklichen Einfluss gehabt haben, worauf u.a. das scheinbar negative Ergebnis des Glühlampenlichtes schliessen lässt.

Einen Versuch zu einem exakteren Vergleich von Glühlampen-, Neon-, Natrium- und ausserdem Niederdruck-Quecksilberlicht unternahmen ARTHUR und STEWART (1935), wobei jedoch die verschiedenen Gasentladungslampen nicht gleichzeitig, sondern jede einzeln nacheinander mit einer Glühlampe als Kontrolle, die an fast 10 % Überspannung brannte, verglichen wurden. Die drei Versuche waren von ungleicher Dauer, nämlich 8 bis 11 Tage. Zudem fielen die verschiedenen Aussaaten der verwendeten Buchweizenpflanzen nicht immer gleich aus. So war die Aussaat für die Neonserie entschieden ungleichmässig. Ein einwandfreier Vergleich der Gasentladungslampen untereinander war deshalb m.E. nachträglich nicht gut möglich.

Der Buchweizen (*Fagopyrum*) wurde im Treibhaus gesät und danach unter Ausschluss anderen Lichtes in ununterbrochen brennendes künstliches Licht bei einer Temperatur von 77° F mit einer Beleuchtungsstärke von der Grössenordnung 700 bis 800 foot candles (= etwa 9000 HLux) gesetzt. Die Beleuchtungsstärken wurden aneinander angeglichen, indem man die Beleuchtung so regelte, dass eine Westonzelle etwa denselben Ausschlag am Millivoltmeter gab. Am Ende jedes Versuches wurden die Trockengewichte des Pflanzenmaterials bestimmt, woraus folgende Prozentsätze gegenüber dem Glühlampenlicht errechnet wurden: Natrium 90 %, Neon 110 %, Quecksilber 66 %.

Auf Grund der spektralen Energieverteilung der verschiedenen Lichtquellen und der spektralen Empfindlichkeit der Westonzelle wurden diese Prozentsätze nun auf gleiche Energie im sichtbaren Abschnitt des Spektrums (700 bis 400 Millimikron) umgerechnet, mit folgendem Ergebnis:

Glühlampe 100, Natrium 141, Neon 120, Quecksilber 62.

Es ist noch fraglich, ob die benutzten Umrechnungsschlüssel richtig sind, doch überdies beruhte die Umrechnung auf den Verhältniszahlen für die Trockengewichte der ganzen Pflanze statt auf denen der Trockengewichtszunahme während des Versuches. Auch die Menge Trockensubstanz zu Beginn der Versuche wurde also mit umgerechnet, je nach der Lampe, unter welche die Pflanzen später gesetzt wurden!

Es ist daher zweifelhaft, ob die errechneten Werte stimmen, denn das Verhältnis zwischen Natrium- und Neonlicht fiel gerade umgekehrt aus, als man auf Grund der Assimilationskurve erwarten sollte.

Die Annahme eines sekundären Maximums bei 589 Millimikron (Natriumlinie) ist denn auch sehr voreilig. ARTHUR und STEWART finden keinen Zusammenhang zwischen den Chlorophyllabsorptionsbanden und der Wellenlänge des Natriumlichtes; denn bei 588 Millimikron ist nach ZSCHEILE (1934) die Chlorophyllabsorption kleiner als 10 %. Wir haben jedoch bei der Assimilation nicht nur mit der Chlorophyllabsorption zu tun, sondern zahlreiche andere Faktoren beeinflussen das Ergebnis, so dass m.E. nur ein Vergleich mit der Assimilationskurve einige Aussicht auf Übereinstimmung bietet. Zudem hängt die Bildung von Pflanzensubstanz nicht ausschliesslich von dem Assimilationswirkungsgrad ab. Allerlei Nebenumstände können hierauf Einfluss ausüben. So bleibt bei diesen Erwägungen die Chlorophyllmenge, die für die Lichtabsorption verfügbar ist, noch völlig unberücksichtigt, und diese ist unter den verschiedenen Lichtquellen nicht gleich. Unter der Glühlampe war das Blatt von einem bleicheren Grün als unter den Gasentladungslampen, so dass die Glühlampe nicht einmal eine besonders geeignete Kontrollichtquelle war.

Die Schlussfolgerung, Natriumlicht habe den höchsten Wirkungsgrad zur Produktion von Trockensubstanz, beruht denn auch auf sehr schwachen Grundlagen. Auch hier haben die günstigen Sichtbarkeitsverhältnisse eine irreführende Rolle gespielt. Denn die hohe Lichtausbeute, die ARTHUR und STEWART für die Natriumlampe mit 45 Lumen je Watt angeben, ist auch wieder nur für das menschliche Auge von Bedeutung, für die Pflanzen dagegen nicht, weil der absolute Energiewert dieser Lumenzahl in Natriumlicht 3,7 mal so klein ist wie in Neonlicht. Dass Neonlampen im allgemeinen so viel grössere Verluste im Vorschaltgerät haben sollen, ist auch nicht richtig; vermutlich haben die Verfasser nicht mit einem modernen Neongerät gearbeitet.

Das mit dem Quecksilberlicht erzielte Ergebnis war geringer, als auf Grund der Chlorophyllabsorption erwartet werden konnte. Ein beträchtlicher Teil des Quecksilberspektrums fällt jedoch ausserhalb des Assimilationsmaximums im Blauviolett, so dass die Erscheinung nicht so verwunderlich ist.

Eine ähnliche Untersuchung führte VOSS (1936) mit ständiger Glühlampen-, Neon-, Natrium- und Hochdruck-Quecksilberbeleuchtung unter Ausschluss anderen Lichtes an verschiedenen landwirt-

schaftlichen Gewächsen (Erbsen, Hafer und Sommerweizen) aus, jedoch mit viel niedrigeren Beleuchtungsstärken. Auch hier wieder wurden die technischen Daten falsch benutzt und wurde die Beleuchtung von Natrium- und Quecksilberlicht ohne weiteres in Lux mit Glühlampen- und Neonlicht verglichen. Die schlechten Ergebnisse mit Quecksilber- und Natriumlicht im Vergleich zu denen der anderen Lichtquellen sind denn auch völlig hierauf zurückzuführen. Die Beleuchtung wurde dadurch zu schwach bemessen. Es ist durchaus kein Wunder, dass 880 Lux Natriumlicht kein befriedigendes Wachstum geben, wenn man bedenkt, dass dies nach seinem Energiewert etwa 245 Lux Neonlicht entspricht, eine Beleuchtungsstärke, die nur eine äusserst langsame Entwicklung ermöglichen wird (siehe Roodenburg 1937, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft, Bd. LV, Tafel 1, Abb. 1).

Ein Versuch mit Quecksilber- und Glühlampenmischlicht wurde ebenfalls mit unvergleichbaren Beleuchtungen ausgeführt, weil auch hier wieder die Beleuchtungsstärke in Lux an die bei der Glühlampe (etwa 2000 Lux) durch Einstellung des Abstandes angeglichen wurde. Zur Beurteilung der praktischen Eignung des Mischlichtes wäre es richtiger gewesen, die Beleuchtung mit gleicher Wattzahl je m² auszuführen. Voss erzielte eine gute Entwicklung mit diesem Mischlicht, hielt es jedoch für wirtschaftlich nicht vorteilhaft.

Das Neonlicht zeitigte eine günstige Wirkung, doch zog Voss wegen der Kosten die Glühlampe vor, weil es für die Zucht landwirtschaftlicher Gewächse zu Veredlungszwecken keinen Einfluss hat, ob die Pflanzen mehr oder weniger vergeilen; nur eine rasche Blüte und Samenbildung ist hier von Bedeutung.

Weigel und Knoll (1936) unternahmen Versuche in Tageslicht mit Zusatzbelichtung von Neon-, Natrium-, Quecksilber-, Bogen- und Glühlampen. Sie wählten die Beleuchtungsstärken auf Grund einer gleichen Absorption durch ein Chlorophyllfilter. Dieses Verfahren ist pflanzenphysiologisch falsch, da die Lichtwirkung ja nicht lediglich von der Chlorophyllabsorption abhängt, zumal es sich hier um Keimversuche handelt, bei denen also das Streckungswachstum die Hauptrolle spielt und danach erst die Assimilation. Da die Versuche erst im März anfingen, wird jedoch die Tagesverlängerung von grösserer Bedeutung für die erzielten Ergebnisse gewesen sein. Die benutzten Beleuchtungsstärken schwanken infolge des angewandten Messverfahrens besonders stark, nämlich zwischen 200 Lux Bogenlicht und 4400 Lux Natriumlicht. Die übrigen Zahlen sind: Glühlampe 450, Quecksilber 1600, Neon 2200 Lux. Für das Glühlampen- und Neonlicht, die wohl in Lux etwa miteinander vergleichbar sind, ist unmittelbar ersichtlich, dass die Dosierung völlig falsch

gewesen sein muss. Die Neonbeleuchtung ist mindestens zweimal so stark wie die bei der praktischen Pflanzenbestrahlung übliche. Andererseits braucht es nicht wunderzunehmen, dass die viel geringere Glühlampenbeleuchtungsstärke keinen befriedigenden Erfolg herbeigeführt hat. Die Keimung der Tomaten- und Blumenkohlsamen wurde durch das Natrium-, Neon- und Bogenlicht gefördert. Das Glühlampen- und das Quecksilberlicht führten zu einem negativen Ergebnis, ja sogar zu einer Hemmung der Keimung, was WEIGEL und KNOLL bei Quecksilberlicht auf das langwellige Ultraviolett, bei der Glühlampe auf das Infrarot zurückführten. Die letztere Annahme ist bestimmt nicht richtig, denn das Infrarot wirkt bekanntlich streckend.

Bei der fortgesetzten Kultur blieben die Verhältnisse nahezu dieselben, obschon nun die Verzögerung bei Quecksilber- und Glühlampenlicht verschwand. Die grössten Tomatenpflanzen wurden im Neonlicht gezogen, jedoch mit einem zu starken Längenwuchs und einem ungesunden Äusseren. Das ist m.E. einer zu hohen Gewächshaustemperatur (16 bis 17° C) beim Weiterziehen der Pflanzen zuzuschreiben (siehe Seite 343 ff.). Dass dieser Nachteil beim Natriumlicht nicht in Erscheinung trat, war die Folge der viel geringeren Intensität in der absoluten Energie des sichtbaren Lichtes. Auch das war also wieder eine Folge der falschen Lichtdosierung. Die Höhenverhältnisse der Tomatenpflanzen stehen denn auch in Beziehung zu den Intensitätsunterschieden, wenn wir diese in Absolutwerte umrechnen, nämlich in der Reihenfolge: Neon (2200 × 6,7), Natrium (4410 × 1,8), Quecksilber (1600 × 2,7) und Glühlampe (450 × 6,3 erg/sec. cm²).

Auch SMITH (1936) verglich Natrium- mit Neon- und Glühlampenlicht als Zusatzbelichtung bei Tomaten im Treibhaus. Der Versuch nahm erst zu Neujahr seinen Anfang, und der Einfluss auf die Blütezeit war gering. Die Frischgewichte der jungen Tomatenpflanzen wiesen erhebliche Unterschiede auf (Tageslicht 100, Natrium 144, Glühlampen 171, Neon 182), die, auf gleiche Wattzahl je m² umgerechnet, folgende Verhältniszahlen ergaben: Natrium 1,0, Glühlampen 0,7, Neon 2,1. Messungen der verschiedenen Beleuchtungen wurden nicht angegeben. Alle Lampen hingen 75 cm über den Pflanzen, so dass beträchtliche Intensitätsunterschiede aufgetreten sein dürften, die jedoch durch Umrechnung auf Grund der Wattzahlen einigermassen korrigiert wurden. Die Wirkung des Natriumlichtes war somit nicht als ungünstig zu bezeichnen, obwohl sie weit hinter derjenigen von Neonlicht zurückblieb.

Die aus der Literatur bekannt gewordenen Angaben haben uns also auf die Frage, ob die Natriumlampe als Lichtquelle zur Pflanzen-

bestrahlung brauchbar sei oder nicht, keine eindeutige Antwort gegeben. REINAU und vor allem VOSS erzielten schlechte Ergebnisse; SMITH, ARTHUR und STEWART sowie WEIGEL und KNOLL dagegen stellten eine günstige Wirkung des Natriumlichtes fest. Diese Widersprüche sind völlig auf grosse Unterschiede in der Dosierung infolge falsch ausgewerteter Lichtmessungen durch unzulängliche physikalische Unterlagen zurückzuführen. Der Nachdruck, der so einseitig auf die Chlorophyllabsorption gelegt wurde, trübte ausserdem die Beurteilung des Tatbestandes. Im experimentellen Teil dieser Abhandlung soll nachgewiesen werden, dass die Wahrheit wie gewöhnlich in der Mitte liegt.

Treibende Wirkung.

Die Untersuchung auf dem Gebiete des Treibens durch Bestrahlung hat in den letzten Jahren keine grossen Fortschritte zu verzeichnen. Anfangs wurde die Glühlampenbestrahlung namentlich bei Versuchen zur Forcierung von Blumenzwiebeln angewandt (TJEBBES und UPHOF 1921, ODÉN 1929 u.a.). Hinsichtlich dieser Glühlampenbestrahlung konnte jedoch nachgewiesen werden (ROODENBURG 1930), dass bei den sehr hohen Beleuchtungsstärken, die in den damaligen Jahren benutzt wurden, wesentliche Temperaturerhöhungen die Ursache der Wachstumsbeschleunigung sein mussten. Die Verwendung teurer, elektrisch erzeugter Wärmestrahlung statt billiger Heizwärme war deshalb sinnlos. Da wir nun schon seit langem vermuteten, dass das Infrarot in bestimmten Fällen auch noch einen spezifischen Einfluss ausüben würde, ist es von Bedeutung, bei den weiteren Untersuchungen diese Frage im Auge zu behalten. Bei der Untersuchung der Einwirkung der Tageslänge hat sich herausgestellt, dass schon sehr niedrige Glühlampenbeleuchtungsstärken einen streckenden Einfluss auf die Pflanzenteile ausüben, ohne dass dabei von einer Temperaturerhöhung die Rede sein kann (ROODENBURG 1937). Es wird denn auch eine Wiederholung von Treibversuchen mit niedrigen Beleuchtungsstärken in nächster Zukunft erforderlich sein.

Tageslänge.

Eine ganz neue Frage nach dem Einfluss verschiedenfarbigen Lichtes ist entstanden, seitdem die Tageslängenerscheinungen mehr und mehr erforscht werden und zur Anwendung gelangen. Da die Tageslängenreaktionen nicht mit der Kohlensäureassimilation zusammenhängen (ROODENBURG 1937), war zu erwarten, dass die Spektralempfindlichkeit der Pflanzen in dieser Hinsicht anders sein würde, als sie in der Assimilationskurve zum Ausdruck kommt. Das

Längenwachstum spielt jedoch eine wichtige Rolle bei der Photoperiodizität, so dass die Tatsache, dass Blauviolett hemmend wirkt, Rotorange dagegen nicht, auch für die Tageslängenwirkung von Bedeutung sein könnte. Daneben sind die infraroten Strahlen zu berücksichtigen, die das Längenwachstum sehr stark fördern können.

Dem entsprechen die Unterschiede in der tagesverlängernden Wirkung der einzelnen technischen Lichtquellen je nach der spektralen Zusammensetzung ihrer Strahlung. Auf diese Frage soll im weiteren Verlauf der vorliegenden Abhandlung bei den Erdbeerversuchen noch näher eingegangen werden.

Auch POESCH und LAURIE (1935) verglichen Glühlampen- mit Neon- und Quecksilberlicht bezüglich der blüteverfrühenden Wirkung bei einer Reihe einjähriger Pflanzen. Sie benutzten einfach Lampen gleicher Leistung (450 Watt), die jede in 3 Fuss Abstand über den Blumentöpfen aufgehängt waren. Das Tageslicht wurde mit vier Stunden Kunstlicht ergänzt (17.30 bis 21.30 Uhr). Unter den Glühlampen war die Zahl der Blüten im allgemeinen grösser als unter dem Neon- und Quecksilberlicht, und die Pflanzen hatten auch den längsten Stengel. Die Blattfarbe war auf allen beleuchteten Abschnitten bleicher als bei der Kontrolle, eine Erscheinung, die m.E. als Langtag-Effekt aufzufassen ist, da sie stets bei Blättern festgestellt werden kann, die sich rasch strecken. Das Wachstum unter dem Quecksilberlicht war am langsamsten. Als Beispiel möge dienen, dass *Calceolarien*, die von Mitte Dezember an belichtet wurden, unter den Lampen im März in Blüte kamen, und zwar bei Glühlampenlicht 38, bei Neonlicht 20 und bei Quecksilberlicht 15 Tage früher als die unbestrahlten. Es leuchtet m.E. ein, dass hier in erster Linie die tagesverlängernde Wirkung des künstlichen Lichtes ihren Einfluss geltend gemacht hat und dass die Glühlampe mit ihrem Infrarotüberschuss die stärkste Wirkung ausgeübt hat. Doch war das nicht immer der Fall; denn bei *Viola tricolor* und *Leptosine maritima* setzte die Blüte bei allen Lampensorten zur selben Zeit ein. Dort war demnach bei der benutzten Beleuchtungsstärke der tagesverlängernde Einfluss aller Lichtquellen gleich.

Eine gründlichere Untersuchung führten WITHROW und BENEDICT (1936) aus, jedoch nicht mit Gasentladungslampen, sondern mit farbigem Licht, das sie mit Gelatinefiltern und Glühlampen erzeugten. Das filtrierte Licht, das auch eine Wasserschicht durchlief, wurde als ergänzende Beleuchtung in den Nachtstunden verabreicht. Das rote Licht, vor allem zwischen 650 und 720 Millimikron, brachte verschiedene Langtagpflanzen zum Blühen (Veilchen, chinesische Astern und Levkojen). Eine Verlängerung des Tages mit grünem oder gelbem Licht blieb ergebnislos; mit Blau wurde etwa dieselbe

Wirkung erzielt wie mit Rot, jedoch viel weniger ausgeprägt. Das rot ausgesiebte Glühlampenlicht erzeugte etwa denselben Reaktionstypus wie die vollständige Strahlung einer Glühlampe.

Diese Art der Bezeichnung der verschiedenen Lichtarten ist irreführend, denn das gelbe und das grüne Filter lassen nur den betreffenden Teil des sichtbaren Lichtes durch, während die Rotfilter auch noch einen beträchtlichen Infrarotanteil übertragen haben werden. Nur das Infrarot oberhalb 1400 Millimikron wurde von der Wasserschicht absorbiert. Auf diese Weise enthält das sog. „rote" Licht einen recht grossen Prozentsatz infraroter Strahlen der kleinsten Wellenlängen, die gerade von der Glühlampe in so beträchtlicher Menge ausgestrahlt werden. Meine schon früher geäusserte Annahme (1937), die tagesverlängernde Wirkung sei vor allem den kurzwelligen infraroten Strahlen zu verdanken, braucht also nicht im Widerspruch zu den Versuchen von WITHROW zu stehen. Dass das blaue Licht ebenfalls noch eine Tageslängenwirkung ausübt, ist möglicherweise gleichfalls die Folge der Durchlässigkeit des Blaufilters für eine bestimmte Menge von Strahlen am roten Ende des Spektrums. Hier musste nämlich wegen des niedrigen Blaugehalts von Glühlampenlicht eine zehnmal so grosse Glühlampe (2000 Watt) benutzt werden wie beim Rotfilter, um noch ein hinreichend starkes blaues Licht zu erzeugen.

Die überempfindliche chinesische Aster, die schon bei 1 Lux (= 0,1 foot candle) Glühlampenlicht photoperiodisch reagiert, lässt auch in allen Lichtarten eine Förderung des Längenwachstums erkennen. Es ist also andererseits noch möglich, dass das blaue Ende des Spektrums mehr oder weniger tagesverlängernd wirkt, wenn auch in viel geringerem Masse als das rote Ende. Man erhält stark den Eindruck, dass die eine oder die andere Lichtfarbe keinen spezifischen Einfluss ausübt, denn die gefundenen Unterschiede decken sich mit denen bei verschiedenen Beleuchtungsstärken. So gibt bei der Aster 0,1 foot candle einen hohen Prozentsatz anormaler Blüten, weil die Intensität zu niedrig ist. Dieselbe Erscheinung tritt bei dem blauen Licht auf, bei dem ebenfalls viel anormale Blüten entstehen. Es darf demnach angenommen werden, dass eine höhere Beleuchtungsstärke dieses „blauen" Lichtes einen vollständigen Langtageffekt hätte geben können. Bei meinen Erdbeerversuchen wird dies näher dargelegt.

WITHROW und BIEBEL (1936) setzten die Untersuchung fort, jetzt auch mit Kurztagpflanzen (*Salvia splendens*, *Cosmos bipinnatus* und *Tithonia speciosa*). Die Spektralempfindlichkeit war bei dieser Gruppe grundsätzlich gleich der der Langtagpflanzen, natürlich mit dem Unterschied, dass das rote Licht hier die Blüte verzögerte, wenn

der Tag damit bis zu 18 Stunden verlängert wurde. Das Längenwachstum der Stengel wurde im roten Licht stark gefördert, und die Pflanzen wuchsen vegetativ weiter, ohne Blüten zu entwickeln, genau wie in dem schwachen Glühlampenlicht (10 Lux). In blauem und grünem Licht verhielten sich die Pflanzen wie die Kontrollen im natürlichen Kurztag, hatten also kürzere Stengelglieder und gingen zum Blühen über. Bei diesen Versuchen waren die Beleuchtungsstärken des farbigen Lichtes nur ¼ von denen, die WITHROW und BENEDICT verwendeten, so dass diese jetzt wohl der Anforderung: niedrig genug zu sein, um keine Assimilation von Bedeutung herbeizuführen, genügt haben dürften. Allerdings treten laut der gegebenen graphischen Darstellung noch beträchtliche Intensitätsunterschiede auf. Das hier benutzte Rot (mit angrenzendem Infrarot) ist erheblich stärker als das Blau und Grün und etwa 5 mal so stark wie das „weisse" Glühlampenlicht von 1 foot candle (10 Lux). Es ist also nicht richtig, zu folgern, das Rot einer Glühlampe wirke ebenso stark wie das vollständige weisse Licht.

Obschon der Tageslängeneinfluss nicht mit der Kohlensäureassimilation zusammenhängt, zeigt sich, dass die Regelung des Wachstums durch die tägliche Bestrahlungsdauer doch auch Einfluss auf die Menge der produzierten Trockensubstanz hat. Bei der chinesischen Aster ist das Trockengewicht beim Langtag am grössten, bei der *Salvia splendens* gerade beim Kurztag. Das sind jedoch m.E. nur indirekte Folgen der Wachstumsregelung.

Auch SCHAPPELLE (1936) benutzte sog. monochromatisches Licht, wozu er Glühlampenlicht durch Glasfilter fallen liess. Die Beleuchtungsstärken wurden auf Grund von Messungen mit einem Weston-Illuminometer und von Berechnungen in Gramm Kalorien je cm^2 und Minute für den sichtbaren Teil des Spektrums aneinander angeglichen. Auch hier wurde noch zuwenig auf den Infrarotfaktor geachtet, obschon ein Wasserfilter mit fliessendem Wasser verwendet wurde.

Das blaue Glas (Corning Nr. 554) hatte im äussersten Rot auch noch eine Durchlässigkeit, die nach dem Infrarot zu allmählich zunahm. Bei 900 Millimikron betrug diese Durchlässigkeit nach den graphischen Darstellungen bereits einige Prozent, wodurch in Verbindung mit dem starken Infrarot der Glühlampe noch eine Strahlung von einiger Bedeutung in diesem Gebiet zu erwarten war, zumal eine sehr grosse Glühlampe benutzt werden musste, um ein genügend starkes blaues Licht zu erzielen (500 Watt für Blau gegenüber 100 Watt für Rot). Noch schlimmer kann diese Fehlerquelle beim roten Glas gewesen sein (Corning Nr. 243), das eine Durchlässigkeit von fast 60 % für die genannte Wellenlänge im Infrarot

besass. Ein anderer Nachteil der Untersuchung von SCHAPPELLE ist, dass er im allgemeinen mit zuwenig Versuchspflanzen arbeitete. Zudem benutzte er stets lange Zeit im Treibhaus vorgezüchtete Pflanzen, in denen dann häufig die Blütenknospe schon vorhanden war. (Cosmos). Weiter beurteilte dieser Verfasser allerlei Erscheinungen vom Gesichtspunkte der Tageslänge aus, die mit diesem häufig wenig zu tun hatten. Ein reineres Bild würde entstehen, wenn die einzelnen Einflüsse von Assimilation, Tageslänge, blauem Licht und Treiben gut auseinandergehalten worden wären. Die Ergebnisse der Versuche geben mir z.B. den Eindruck, dass Marchantia keine für die Tageslänge empfindliche Pflanze wäre und hauptsächlich auf Assimilation anspricht. Auch werden die verschiedenen Phasen der generativen Entwicklung nicht auseinandergehalten, wie Blütenknospenanlage und deren Auswachsen, Blüte, Fruchtansatz usw., die kurz unter „fruiting" zusammengefasst werden, obschon für jede dieser Phasen wieder andere Faktoren von Bedeutung sind.

Das rote und das blaue Licht zeitigten fast die gleiche Wirkung bei Radieschen, Spinat, Crepis und Marchantia, soweit es sich um die reproduktive Entwicklung handelte. Bei Salat wirkte das blaue Licht besser, rotes Licht gab dort zwar Blütenanlage, doch keine vollständige Blüte.

Nach SCHAPPELLE würde die Blüte von Kurztagpflanzen im Sommer nicht nur durch die langen Tage verhindert, sondern auch durch die hohe Stärke des blauen Lichtes, die in dieser Jahreszeit herrscht. Umgekehrt sollten Langtagpflanzen im Winter nicht blühen, nicht nur infolge einer zu kurzen Tageslänge, sondern auch infolge einer zu niedrigen Lichtstärke, vor allem im Blau. Diese Schlussfolgerung erscheint mir sehr voreilig. Die Tatsache, dass das blaue Glas nicht rein monochromatisch ist und dass die benutzten Beleuchtungsstärken im allgemeinen verhältnismässig hoch sind, macht es unmöglich, ein richtiges Bild vom Tageslängeneinfluss des blauen Lichtes zu gewinnen. Etwas anderes ist es, dass die Möglichkeit besteht, dass bei dunklem Wetter die Tageslänge physiologisch kürzer ist als bei sonnigem Wetter, weil während der Dämmerung die Mindestbeleuchtungsstärke, die noch eine Tageslängenwirkung hat, bei dunklem Wetter eher erreicht wird. Ein derartiger Unterschied zwischen Sommer- und Wintertagen ist also wòhl annehmbar

Weiter soll Infrarot, sogar zwischen 800 und 2000 Millimikron, bezüglich der „fruiting" von Marchantia unwirksam sein. Diese Annahme wurde jedoch aus einem Versuch abgeleitet, bei dem die Beleuchtungsstärke eines 14stündigen natürlichen Tages künstlich erhöht wurde, so dass es sich hier nicht um einen Tagesverlängerungsversuch handelte. Das beweist also nichts gegen das Bestehen

einer Tageslängenwirkung von kurzwelligem Infrarot. SCHAPPELLE folgert jedoch, dass die Wellenlängen von 650 bis 750 Millimikron am wirksamsten wären.

FUNKE (1936) kam auf einem ganz anderen Wege zu ähnlichen Ergebnissen bei einer Untersuchung mit „Kurztagpflanzen".

Er benutzte neben dem lichtdichten Abschluss, der zur Tagesverkürzung diente, auch klares und farbiges Glas. Alle Pflanzen erhielten also während eines Teiles des Tages die natürliche Beleuchtung und überdies eine bestimmte Zahl von Stunden rotes, blaues oder „weisses" Licht oder völlige Dunkelheit. Der Tag wurde auf acht Stunden verkürzt. Das Ergebnis war, dass Cosmos, Solidago und verschiedene Astern bei Tagesverkürzungen mit völliger Dunkelheit 20 bis 40 Tage früher blühten. Tagesverkürzung mit blauem Glas kam diesem Ergebnis sehr nahe, während die Pflanzen unter rotem und klarem Glas etwa gleich in Blüte waren wie die Kontrollpflanzen in der natürlichen Tageslänge des Spätsommers. Bei verschiedenen Chrysanthen war die Verfrühung mit Dunkelheit viel bedeutender als mit blauem Licht. Deutlich zeigte sich jedenfalls, dass dem roten Licht die stärkste Langtagwirkung zuzuschreiben ist. Es ist schade, dass bei diesen Experimenten nicht versucht worden ist, die Beleuchtungsstärken des farbigen und weissen Lichtes aneinander anzugleichen. Es sind nun deutliche Unterschiede aufgetreten, die auf ungleiche Kohlensäureassimilation zurückzuführen sind. So wird erwähnt, dass Cosmos unter rotem und blauem Glas unter zuwenig Licht zu leiden hatte, also eine Folge zu geringer Assimilation. Hätten die Kontrollpflanzen unter grauem Glas oder unter irgendeinem Schirmmaterial gleicher Durchlässigkeit wie der des farbigen Glases gestanden, so wäre die Vergleichbarkeit der Pflanzen besser gewesen. Später, im Jahre 1938, wurde dieser Schwierigkeit durch Benutzung von Weisskalk begegnet.

In zwei folgenden Veröffentlichungen gibt FUNKE (1937, 1938) ähnliche Versuche auch mit Langtagpflanzen. Daneben wurde im Winter im Treibhaus elektrisches Licht in Verbindung mit farbigem Glas benutzt. Es zeigte sich, dass sich die verschiedenen Pflanzensorten bei weitem nicht alle in gleicher Weise verhielten. Es war eine Gruppe vorhanden, bei welcher rotes und weisses Licht dieselbe Blütezeit gaben, während Blau wie Dunkelheit wirkte. Bei einer anderen Gruppe bestand kein Unterschied zwischen rotem, blauem und weissem Licht. In allen Lichtarten fiel die Blüte in dieselbe Zeit. Ausserdem blühte eine dritte Gruppe ausschliesslich in weissem Licht, und eine weitere kam nur in Weiss und Blau zur Blütenbildung. M.E. lassen sich all diese Fälle, mit Ausnahme der letztgenannten Gruppe, leicht durch Unterschiede der Empfindlichkeit

der verschiedenen Pflanzenarten für die Strahlungsintensität erklären. Die Menge wirksamer Strahlung nimmt nämlich bei der gegebenen Versuchsanordnung von Weiss über Rot nach Blau ab. Obschon die Intensität innerhalb weiter Grenzen keine Bedeutung für die Tageslängenwirkung hat, darf die Beleuchtungsstärke doch nicht vernachlässigt werden. Bei schwachen Beleuchtungen spielt die Intensität entschieden eine Rolle, was in der vorliegenden Arbeit noch nachgewiesen werden soll. Bei einem Vergleich von Pflanzenarten untereinander ist die gegebene Beleuchtungsstärke genau im Auge zu behalten, weil die Unterschiede in der Empfindlichkeit dafür sehr gross sein können. So zeigt nach WITHROW und BENEDICT die chinesische Aster bereits bei einer Tagesverlängerung mit 3 Lux Glühlampenlicht eine starke Langtagwirkung, während nach ROODENBURG (1937) diese Beleuchtungsstärke für Erdbeeren im Herbst viel zu niedrig ist und 20 bis 40 Lux erforderlich sind, um die Blütenstengel auswachsen zu lassen.

Arbeitet man mit Tageslicht, so wird unter dem farbigen Glas die Dunkelheit eher anbrechen als unter dem Klarglas, so dass die gegebene Tageslänge in Wirklichkeit doch nicht gleich ist. Derartige kleine Unterschiede haben natürlich nur dann Einfluss, wenn die kritische Tageslänge für eine bestimmte Pflanze ungefähr erreicht ist. Bei FUNKES Versuchen mit Kunstlicht hätte bestimmt mehr darauf geachtet werden müssen, die verschiedenen Beleuchtungen miteinander vergleichbar zu machen. Die Angabe einer gleichen Beleuchtungsstärke in Lux unter den verschiedenfarbigen Gläsern gestattet keinen einwandfreien Vergleich.

Auch KATUNSKY (1937) untersuchte die Spektralempfindlichkeit einer Reihe von Pflanzen: Gerste, Hanf, Soja, Erbsen und Bohnen. Er verwendete gefärbte Flüssigkeiten als Filter für Glühlampenlicht. Sechs Stunden Beleuchtung mit diesem farbigen Licht dienten zur Verlängerung einer zwölfstündigen Beleuchtung mit einer gewöhnlichen Glühlampe. Damit wurde eine sehr konstante Lichtdosierung erreicht. Die Unregelmässigkeiten, die beim Arbeiten mit Tageslicht auftreten, wurden in dieser Weise ausgeschaltet. Es ist daher schade, dass die Intensität des farbigen Lichtes so hoch gewählt wurde (im Mittel 37.000 erg/sec. cm^2), wodurch der Einfluss von Unterschieden bezüglich der Kohlensäureassimilation nicht ausgeschlossen ist. Es wäre besser gewesen, das farbige Licht so schwach zu wählen, dass Assimilation darin praktisch nicht mehr möglich wäre, eine Methode, auf die ich bereits früher hingewiesen habe (ROODENBURG 1937, Seite 16).

Die Ergebnisse decken sich im wesentlichen mit denen der oben genannten Verfasser. Sowohl Kurz- wie Langtagpflanzen sprachen

am stärksten auf Rot an, dann folgten Orangegelb und Blau, während Grün fast unwirksam war. KATUNSKY erblickte in diesen Unterschieden lediglich einen quantitativen Unterschied in der Wirkung, er fand jedoch die Ähnlichkeit mit der Absorption des Chlorophylls so auffallend, dass er glaubte, der photoperiodische Effekt hänge von der Absorption der grünen Blätter ab. Nun darf dieser Schluss nicht ohne weiteres gezogen werden, die minimale Wirkung gerade im Grün ist zwar merkwürdig, doch müsste das Bestehen eines sekundären Maximums im Blau noch exakter bewiesen werden. Dass das Maximum schon im Rot zwischen 630 und 750 Millimikron erreicht sein soll, muss ich auf Grund eigener Untersuchungen bezweifeln.

Schliesslich bemerkt KATUNSKY noch, dass die südlichen Formen sowohl der Lang- wie der Kurztagpflanzen verhältnismässig empfindlicher für blaues Licht sind als die Formen nördlichen Ursprungs. Da hier jedoch mit ausschliesslich künstlichem Licht gearbeitet wurde, besteht die Möglichkeit, dass die verabreichte Menge „weisses" Licht für manche Pflanzen zuwenig Blau enthielt, weil das Glühlampenlicht von Natur aus blauarm ist. Letzteres wird im Abschnitt „Blau-violettes Licht" noch näher besprochen.

Die hier angeführten Verfasser sind sich also alle darüber einig, dass die photoperiodische Wirkung des Lichtes in erster Linie am roten Ende des Spektrums gesucht werden muss.

Blau-violettes Licht.

Obschon die praktisch orientierten Untersuchungen in befriedigender Weise gezeigt hatten, dass Neonlicht als Zusatzbelichtung für Treibhauspflanzen verwendet werden kann, stiess ich nach wie vor auf Schwierigkeiten, wenn diese Lichtart unter Ausschluss des Tageslichtes benutzt wurde. Es erwies sich als nicht einfach, ohne Tageslicht normal gestaltete Pflanzen heran zu ziehen. Die Pflanzen können zwar mit einer ausreichenden Lichtmenge im Wachsen gehalten werden, und es kann ein übermässiges Längenwachstum durch niedrige Temperatur unterdrückt werden, doch so günstig man die Bedingungen auch wählt, es bleiben dennoch verschiedene Pflanzenarten übrig, die in Neonlicht allein nicht den natürlichen Habitus erlangen. Man beobachtet dann die Erscheinung, dass die Blattflächen konvex gewölbt, also nicht normal flach ausgebreitet sind. Das ist zwar nicht der Fall bei Quecksilberlicht, in welchem das Blatt die natürliche Form annimmt, jedoch infolge der schwächeren Kohlensäureassimilation die Entwicklungsgeschwindigkeit wieder viel zu wünschen übriglässt. Mit der Bildung von Kohlehydraten

kann dieser formative Einfluss des Quecksilberlichtes auf das Blatt also nicht zusammenhängen.

Nun ist im Schrifttum schon lange bekannt, dass blaues Licht imstande ist, Pflanzen ein normales Äusseres zu verleihen, das etwa demjenigen in weissem Licht entspricht. In ausschliesslich rotem Licht werden die Stengel langgestreckt wie in der Dunkelheit und entwickeln sich auch die Blätter nicht normal.

Die einschlägigen Versuche verschiedener Forscher litten eigentlich alle an demselben Mangel. Es war nämlich praktisch unmöglich, die Durchlässigkeit der Filter, mit denen das farbige Licht erzeugt wurde, so zu wählen, dass die Kohlensäureassimilation keine Unterschiede lieferte. TEODORESCO (1929) begegnete dieser Schwierigkeit einigermassen dadurch, dass er Pflanzen mit einem grossen Vorrat Reservenahrung wählte.

Da nun aber auf vielerlei Wegen immer wieder derselbe Unterschied zwischen rotem und blauem Licht festgestellt wurde und nun auch bei meinen Versuchen Neon- und Quecksilberlicht dieselben Erscheinungen zeigten, muss wohl angenommen werden, dass die meisten Pflanzen blaues Licht zu ihrer. Entwicklung brauchen. Die Erklärung dieser Erscheinung wird auf dem Gebiete der Lichtwachstumsreaktionen zu suchen sein, vielleicht auch auf dem der Wuchsstoffe. Der Widerspruch, dass wir trotzdem das rote Neonlicht für die praktische Pflanzenbestrahlung verwenden, wird nun verständlich. Denn dabei wird in erster Linie eine Vermehrung der Kohlensäureassimilation und der Tageslängenwirkung verlangt. Der notwendige formative Einfluss geht dann offenbar schon in hinreichendem Masse vom Tageslicht aus, das wahrscheinlich auch in den Wintermonaten noch einen genügenden Anteil blaues Licht liefert.

Nach FUNKE (1934) kann eine normale Entwicklung einer Pflanze nur erreicht werden, wenn ein gewisses Minimum an blauen Strahlen zur Verfügung steht. Offenbar braucht diese Menge blauen Lichtes nicht sehr gross zu sein und ist das Minimum nicht für alle Pflanzen gleich, denn auf Grund meiner Erfahrungen treten die Schwierigkeiten, die sich bei Tomatenpflanzen in ausschliesslichem Neonlicht ergeben, z.B. bei der Gurke nicht auf. Bei seinen Etiolementsversuchen fand TRUMPF (1924), dass schon sehr kurze tägliche Belichtungen von z.B. 10 Minuten mit sehr starkem „weissem" Licht imstande sind, das erste Blätterpaar von Phaseolus multiflorus zur Entfaltung zu bringen, selbst ohne dass dabei Chlorophyll entsteht. Das erklärt, wie sich der Mangel an blauem Licht erst bei völligem Ausschluss der blauen Strahlen ernstlich bemerkbar macht.

Die einander widersprechenden Auffassungen in der Literatur

bezüglich der Bedeutung der sprektralen Zusammensetzung des Lichtes, auf die auch KATUNSKY hinweist, entstanden, weil die eine Gruppe von Untersuchern (POPP u.a.) ihre Versuchspflanzen in ausschliesslich farbigem Licht aufzog, während die übrigen das farbige Licht als Zusatz des Tageslichtes benutzte (u.a. ROODENBURG). Die erste Gruppe konnte dadurch die Wirkung des blauen Lichtes deutlich feststellen, während die zweite Gruppe davon nichts bemerkte und nur mit dem roten Ende des Spektrums im Hinblick auf die Assimilation und die Tageslänge zu rechnen brauchte.

Hat man jedoch bei einer Kultur ohne Tageslicht alle Faktoren von Temperatur, Assimilation, Tageslänge usw. berücksichtigt, so bleibt bei der Lichtversorgung die Notwendigkeit der Verabreichung von blauem Licht übrig, wenn man den Pflanzen auch einen natürlichen Habitus geben will.

Ein deutliches Bild des Mangels am blauen Licht gibt Abb. 6 der Veröffentlichung von SCHANZ in Pflügers Archiv von 1920, auf der Blätter einer in ausschliesslich rotem Licht gehaltenen Pelargonie abgebildet sind. Die Missbildung des Blattes besteht im Auftreten konvex gewölbter Blattflächen, die zwischen den Nerven eingesunken sind, wodurch die letzteren hoch liegen und das Ganze an einen halb aufgespannten Regenschirm erinnert. Ähnliche Erscheinungen beobachtete ich vor verschiedenen Jahren ebenfalls an Pelargonien, die in ausschliesslichem Neonlicht gehalten wurden. Die Missbildungen an den Blättern wurden damals jedoch noch nicht als die Folgen eines Mangels am blauen Licht erkannt.

Auch POPP (1926) beobachtete eine allgemeine Neigung zu Kräuselung oder Umkrempelung des Blattes, vor allem bei der Sonnenblume, Petunie, Tomate, bei Tabak und Mirabilis. Das ist wohl die deutlichste Erscheinung eines Blaulichtmangels, was man von dem übermässigen Längenwachstum von Stengeln und Blattstielen nicht sagen kann, weil der letztere noch in beträchtlichem Masse durch Temperatur, Assimilation (ROODENBURG, 1933) und Tageslänge beeinflusst wird.

In ziemlicher Übereinstimmung mit obigem sind die Versuche von ARTHUR und HARVILL (1937), die erfuhren, dass Pflanzen, die in ständigem starkem Natriumlicht während kurzer Zeit gut wuchsen, auf die Dauer stark zurückgingen, so dass nach zwei Monaten nur einige gelbe Blätter an der Spitze übrigblieben. Derartige Pflanzen konnten sich nun völlig erholen, wenn die ständige Natriumbeleuchtung mit nur zwei Stunden Quecksilberlicht je Tag ergänzt wurde. Das Blatt wurde wieder grün, und die Pflanzen gingen erneut in Blüte. Dies wurde bei Begonie, Gardenie, Pelargonie, Anthirrhinum, Baumwolle und Buchweizen beobachtet. Nur mit Tomaten war kein

befriedigendes Ergebnis zu erzielen. Die Verfasser erwähnen wiederum den hohen Wirkungsgrad des Natriumlichtes, der, wie schon oben gesagt, nur für das Sehen Bedeutung hat, für die Pflanzen jedoch keine Rolle spielt. Dies wird jedoch infolge der ungeheuren Lichtstärke, die hier benutzt wurde, nicht bemerkt. Man verwendete etwa 600 Watt je m², wodurch die Beleuchtungsstärke sehr hoch gewesen sein muss. Das benutzte Quecksilberlicht wurde mit einer 85-Watt-Überhochdrucklampe erzeugt. Ich halte es für wahrscheinlich, dass dieses Quecksilberlicht hier zum Ausgleich des Mangels an blau-violetten Strahlen gedient hat, worauf auch die verhältnismässig kleine Dosis „blaues" Licht schliessen lässt, die erforderlich war.

Die Schlussfolgerung aus diesen Betrachtungen lautet also, dass bei der Pflanzenkultur in ausschliesslich künstlichem Licht im allgemeinen noch eine gewisse Dosis blau-violetten Lichtes erforderlich sein wird, selbst wenn für die richtige Lichtdosis im Hinblick auf Assimilation und Tageslänge gesorgt ist. Künstliches Licht, das als Ergänzung zum Tageslicht verwendet werden soll, braucht dieser Bedingung nicht zu genügen, ausgenommen vielleicht an Orten, wo das Tageslicht sehr knapp ist, wie im Winter in sehr nördlich gelegenen Gegenden.

B. THEORETISCHE VERSUCHE UNTER AUSSCHLUSS VON TAGESLICHT.

Schon gleich im Jahre 1932, nach der Konstruktion der ersten technisch brauchbaren Natriumlampen, wurden Versuche zur Ermittlung der Wirkung von Natriumlicht auf Pflanzen durchgeführt. Die ersten Ergebnisse waren nicht sonderlich günstig und schienen die theoretische Erwartung zu bestätigen, dass Natriumlicht einen niedrigeren Assimilationswirkungsgrad hätte als Neonlicht.

Anfangs wurden die meisten Versuche ohne Tageslicht in den schon an anderer Stelle beschriebenen völlig verdunkelten Versuchskästen ausgeführt, in denen mit kleinen Lampen (etwa 100 W) sehr gut experimentiert werden kann. Das Arbeiten ohne Tageslicht hat den Vorteil, dass man den Einfluss des künstlichen Lichtes viel sicherer feststellen kann als in einem gewöhnlichen Treibhaus, zu dem auch das Tageslicht Zutritt hat. In den verdunkelten Räumen hängt das Leben der Pflanzen gänzlich vom verabreichten künstlichen Licht ab. Seine Lichtstärke ist bei allen Versuchen gegenüber derjenigen des Sonnenlichtes gering, so dass man in dem Gebiet arbeitet, in dem die Blattentwicklung proportional der Lichtmenge ist (ROODENBURG 1937). Da im übrigen alle anderen Faktoren, wie

Wärme, Feuchtigkeit, minerale Nahrung usw., so gut wie möglich versorgt sind, ist hier das Licht der einschränkende Faktor, von dem also die Wachstumsgeschwindigkeit völlig abhängt. Bis auf das Fehlen von Tageslicht sind die Verhältnisse denjenigen im gewöhnlichen Treibhaus möglichst gleich. Die Temperatur wird regelmässig überwacht, ist jedoch nicht konstant.

Untenstehend folgt nunmehr die Beschreibung einer Versuchsreihe aus den Jahren 1932 bis 1935.

1. Natrium- im Vergleich zu Neonlicht.

1932—1933.

Die verdunkelte Zelle war durch eine Zwischenwand in zwei Abteile eingeteilt. Links hing eine kleine Neonlampe, Typ Philips 4304 (Säulenlänge 50 cm) von 150 W, 220 V Wechselstrom. Der Abstand zwischen dem Reflektor und den Pflanzenkistchen betrug 65 cm. Die Beleuchtungsstärke betrug daher in der Höhe der Pflanzen etwa 500 HLux Neonlicht, was durch Multiplikation mit 6,7 eine Intensität von 3350 erg/sec. cm^2 ergibt.

Im rechten Abteil hing eine Natriumlampe (Niedervoltbogen) von etwa 100 W, 400 Dekalumen (DORGELO und BOUMA 1937, Abb. 1). Es war eine Lampe vom ältesten Modell. Sie bestand aus einer Art Gleichrichterröhre mit losem Vakuumglas, die mit einem Transformator in Betrieb gesetzt wurde, den wir früher für kleine Neonlampen benutzten. Die Aufhängehöhe betrug hier 50 cm. Dieser Abstand war so gewählt, dass die Beleuchtung in beiden Abteilen von derselben Helligkeit war, also nach der Sichtbarkeit des Natrium- und des Neonlichtes beurteilt. Hilfsmittel zur richtigen Messung des Natriumlichtes standen damals noch nicht zur Verfügung. Der Abstand der Lampen zu den Pflanzen war jedoch darauf berechnet, dass für beide Lichtarten eine gleiche Leistung von etwa 100 W je m^2 aufgewandt wurde; die etwa 500 HLux Natriumlicht haben jedoch nur einen Energiewert von 900 erg/sec. cm^2 dargestellt. Die Lampen brannten täglich acht Stunden, nämlich von 9.00 bis 17.00 Uhr. Die Temperatur betrug im Mittel 23° C. (Mindesttemperatur des Nachts etwa 18°, Höchsttemperatur am Tage etwa 28° C.).

VERSUCH I.

Gurke (*Cucumis sativus*). 30. November 1932.

In jeden Abschnitt werden zwei Kistchen mit 15 Pflanzen gesetzt. Das Material stammt von einem Versuch mit der grünen Treibhausgurke im grossen Bestrahlungsgewächshaus, für den am 7. November

gesät wurde. Die Hälfte der Pflanzen hat vom 11. bis 24. November zusätzliches Neonlicht erhalten, so dass diese Pflanzen schon fast zweimal so weit entwickelt sind wie die nicht vorbestrahlten. Da dieser Unterschied wahrscheinlich während der nun folgenden Behandlung bestehen bleiben wird, ist es erforderlich, die Beurteilung der Gruppen getrennt vorzunehmen.

Am 30. November beginnt die Bestrahlung und wird bis zum 15. Dezember fortgesetzt; an dem Tage wurden die Pflanzen gemessen und aufgeräumt. Der Zustand des Materials ist nicht besonders gut. Infolge der geringen Lichtdosis gehen viele Pflanzen verloren. Die Stengel sind dünn, was zu Umfallen führt. Dieser Übelstand ist jedoch im Natriumlicht doppelt so schlimm wie im Neonlicht.

Es folgen hier zum Vergleich die mittleren Abmessungen der während der Bestrahlung neuentwickelten Pflanzenteile.

15. Dezember 1932 Gurke	Natrium		Neon	
	nicht vorbestrahlt	vorbestrahlt	nicht vorbestrahlt	vorbestrahlt
Breite in cm:				
4. Blatt	0,0	0,4	0,7	3,3
3. Blatt	1,8	3,2	4,9	7,3
Länge in cm:				
2. Internodium .	0,6	1,2	1,3	2,3
Verhältnis 3. Blatt : 2. Internodium	3,0	2,7	3,8	3,2

Aus diesen Zahlen folgt, dass die neuen Pflanzenteile im Neonlicht zweimal so rasch gewachsen sind wie im Natriumlicht. Die Verhältniszahlen zwischen Blatt und Internodium zeigen, dass die Pflanzen im Natriumlicht verhältnismässig weniger gedrungen sind, obschon die Internodien infolge der viel langsameren Entwicklung in Wirklichkeit kürzer sind. Der Vorsprung der vorhergegangenen Bestrahlung im grossen Treibhaus ist überdies noch sehr deutlich.

Die Wirkung des hier gegebenen Natriumlichtes ist also erheblich schwächer als die der damit verglichenen Menge Neonlicht.

VERSUCH II.

Gelber Rübstiel (Sinapis chinensis). 14. Dezember 1932.

Ein wesentlicher Unterschied in der Blattfarbe war bei den Gurkenpflanzen nicht festzustellen. Um nun ein Urteil über einen etwaigen Unterschied in der Chlorophyllbildung unter den beiden

Lichtarten zu erhalten, werden Töpfe mit im Dunkeln gekeimten gelben Rübstielen neben die Gurkenkisten gesetzt. An vier aufeinanderfolgenden Tagen wird in beiden Abschnitten je ein neuer Topf mit Rübstielen hinzugesetzt. Die Keimblätter sind in etwa drei Tagen vollständig grün. Beim Einsetzen des letzten, vierten Topfes ist also eine Farbenreihe: vollständig grün, gelbgrün, grüngelb und vollständig gelb, zu sehen. Der Unterschied zwischen Natrium und Neon ist hierbei nicht gross; in Natriumlicht vollzieht sich die Färbung etwas langsamer. Nach fünf Tagen sind die ersten drei Töpfe in jedem Abschnitt vollständig gefärbt. Der vierte Topf, der also nur zwei Tage Licht erhielt, ist in Natrium noch etwas gelber als der entsprechende Topf in Neon. *Die Färbungsgeschwindigkeit im Neonlicht ist hier also tatsächlich ein wenig grösser*, es handelt sich bei diesem Unterschied jedoch höchstens um einen halben Tag.

Nach sechs Tagen werden die Rübstiele aufgeräumt. Die grüne Farbe ist praktisch überall gleich, nur sind die Pflanzen im vierten Topf unter dem Natriumlicht etwas weniger grün.

Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass die Keimblätter unter dem Neonlicht ein wenig grösser sind.

VERSUCH III.

Coleus Rehneltianus hybridus. 2. Januar 1933.

In derselben Anordnung wie für Versuch I werden nun in jeden Abschnitt 16 soeben eingetopfte und schon bewurzelte Coleusstecklinge unter die Lampen gebracht. Die Temperatur ist jetzt viel niedriger, im Mittel 15° C. (min. 12°, max. 18° C.). Die Pflanzen gehen unter dem Neonlicht besser an als unter dem Natriumlicht, in dem nach 11 Tagen fünf eingegangen sind. Bei den Überlebenden ist der Unterschied im Wuchs gegenüber der Coleus unter dem Neonlicht nicht nennenswert. Die Farbe des Coleusblattes, das normalerweise aus einem breiten grünen Rand, einer gelben Blattbasis und einem roten Mittelteil besteht, ändert sich in einer Weise, wie man sie bei Pflanzen beobachten kann, die zuwenig Licht erhalten, z.B. in Innenräumen. Die rote Farbe verzieht sich aus dem älteren Blatt, das jüngere Blatt wird fast ganz grün, das allerneuste Blatt kommt stark gebleicht zum Vorschein.

Bei diesem Versuch ist nach dreiwöchiger Bestrahlung das Grün unter dem Neonlicht um einen Ton dunkler, das junge Blatt ist entweder grün mit einer weissen Mitte und einigen Spuren Rot oder fast ganz grün mit einigen roten Äderchen. Im Natriumlicht ist eine ähnliche Verfärbung zu sehen, jedoch fahler, während noch weniger Rot übrigblieb.

Nach etwa fünfwöchiger Bestrahlung zeigt sich, dass *das Wachstum im Neonlicht doch am stärksten* ist, obwohl es im allgemeinen bei beiden Gruppen recht langsam geht. Viel Längenwuchs ist an den Pflanzen nicht zu sehen, was auf eine zu geringe Lichtdosis deutet, wodurch sowohl Blatt- wie Stengelwuchs gehemmt werden.

VERSUCH IV.

Tomate (*Solanum lycopersicum*). 1. Februar 1933.

Danach wird in jeden Abschnitt eine grosse Kiste mit 18 zum zweitenmal pikierten Tomatenpflanzen (Var. Ailsa Craig) gesetzt, die am 6. Dezember gesät und im grossen Treibhaus aufgezogen wurden. Zu Beginn des Versuches haben sie fünf bis sechs Blätter und sind sie etwa 7 cm hoch. Die Temperatur beträgt jetzt im Mittel 14° C. (min. etwa 11°, max. etwa 17° C.). Das Wachstum setzt am ersten unter dem Neonlicht ein, in dem nach zehn Tagen die mittlere Höhe 8,9 cm beträgt, während die Natriumpflanzen keine grössere mittlere Höhe erreicht haben als 7,1 cm. Sie sind also kaum gewachsen.

Zum Vergleich diene, dass ein entsprechender Satz Tomatenpflanzen unter drei verschiedenen Beleuchtungsstärken Neonlicht (Hochspannung) bereits mehr gewachsen ist, nämlich bis zu einer Höhe von 10,5 cm bei einer Beleuchtungsstärke von etwa 1000 HLux, 10,1 cm bei etwa 800 HLux und 8,7 cm bei etwa 300 HLux.

Nach vier Wochen wird der Versuch beendet; die Pflanzen sind dann langgestreckt, sind jedoch unter dem Neonlicht kräftiger und haben ein etwa 25 % grösseres Blatt. Die Natriumpflanzen sind etwas zart, vor allem an der Spitze, und fahlgrün gefärbt.

Mitten unter der Natriumlampe sind die Pflanzen von gleicher Grösse und Güte wie die, welche am Rand der Kiste unter dem Neonlicht stehen. Infolge der Abnahme der Beleuchtungsstärke sind die Pflanzen an den Enden der länglichen Kiste kleiner als mitten unter den Lampen. Hierdurch wird schon die Vermutung genährt, dass der Unterschied in der Wirkung des Natriumlichtes *mehr eine Frage der Beleuchtungsstärke als der spektralen Zusammensetzung ist.*

VERSUCH V.

Gurke (*Cucumis sativus*). 13. März 1933.

Derselbe Versuch wird mit einmal pikierten Gurkensämlingen wiederholt, die am 5. März im elektrischen Keimschrank gesät worden waren. Am 13. März wird unter das Natrium- und das Neonlicht in jeden Abschnitt eine grosse Kiste mit 18 Pflanzen

gesetzt. Die Temperatur beträgt im Mittel 22° C. (min. etwa 19°, max. etwa 26° C.). Nach einer Woche ist bereits ein geringer Unterschied zu sehen. Die Natriumpflanzen bleiben hinter denen des Neonabschnittes zurück, das Keimblatt ist etwas kleiner und rinnenförmig nach unten umgebogen. Das erste wirkliche Blatt beginnt sich zu entwickeln, und zwar bei fünf Neonpflanzen gegen zwei Natriumpflanzen.

Nach zwei Wochen werden die Pflanzen gemessen. Die Abmessungen sind dann wie folgt:

	Stengellänge	Keimblattlänge	Breite des 1. Blattes
Natrium:	3,7 cm	3,5 cm	0,4 *cm*
Neon:	3,7 cm	3,8 cm	1,6 *cm*

Gleichzeitig waren Gruppen von zwölf Pflanzen in verschiedenen Neonbeleuchtungsstärken (Hochspannungsabteil) gehalten worden, die ebenfalls am 28. März gemessen werden.

HLux *Neon*	Stengellänge	Keimblattlänge	Breite des 1. Blattes
300	4,2 cm	3,4 cm	0,8 *cm*
800	4,2 cm	4,3 cm	3,2 *cm*
1000	4,3 cm	4,8 cm	4,3 *cm*

Hieraus geht deutlich hervor, dass die Natriumpflanzen noch schlechter sind als die in der geringsten Neonbeleuchtungsstärke, während die Neonpflanzen (Niederspannung) die Mitte zwischen der kleinsten und der mittleren Beleuchtungsstärke halten. Ebenso wie im Natriumlicht, sind die Keimblätter in der kleinsten Neonbeleuchtungsstärke rinnenförmig nach unten umgebogen.

Mit dieser Beleuchtungsstärke ist die Mindestlichtmenge erreicht, bei der nur noch ein sehr geringes Blattwachstum möglich ist. *Die verabreichte Natriumlichtmenge liegt also bestimmt an der unteren Brauchbarkeitsgrenze.* Die schlechte Qualität der Natriumpflanzen ist wahrscheinlich nicht die Folge der spektralen Zusammensetzung dieses Lichtes, sondern auf eine zu geringe Beleuchtungsstärke zurückzuführen. Denn unter schwachem Neonlicht werden ja genau dieselben Erscheinungen wahrgenommen.

1933—1934.

Es war also von Bedeutung, die Wirkung des Natriumlichtes bei höherer Beleuchtungsstärke zu erforschen. Das war jedoch mit dem ältesten Typ der Natriumlampe kaum möglich, weil dann der Abstand bis zu den Pflanzen zu kurz genommen werden müsste, wodurch die Lampenwärme zu hinderlich wäre und die bestrahlte Fläche zu klein werden würde. Im folgenden Winterhalbjahr, 1933—1934, hatten die Philips-Werke inzwischen bereits viel bessere Natriumlichtquellen entwickelt, deren Lichtausbeute immer weiter gesteigert wurde.

Eine neue Natriumlampe von 100 W, 550 Dekalumen, zum Anschluss an 220 V Wechselstrom kam im Herbst 1933 heraus. Sie besteht aus einer U-förmigen Röhre (Haarnadelmodell) von 20 cm Länge mit Bajonettsockel und einem genau auf sie passenden Vakuumglas (DORGELO und BOUMA 1937, Abb. 2). Die Lichtquelle konnte nun in waagerechter Lage in einem länglichen Reflektor untergebracht werden, wodurch die günstige Lichtverteilung der Neonlampen besser angenähert wurde. Das Vorschaltgerät befand sich in einem getrennten, wasserdichten Gusseisenkästchen, das über ein gewöhnliches Vollgummikabel mit der Bajonettfassung verbunden war. Hierdurch war die Lampe leicht in der Höhe verstellbar. Die Zündung der Röhre erfolgte nicht selbsttätig, sondern musste mit einem Druckknopf bewirkt werden, ebenso wie bei der kleinen Neonröhre, der die erforderliche Zündspannung mit Hilfe eines Schalters zugeführt wurde.

Die 150-Watt-Neonlampe hing nun 70 cm über der Pflanzenkiste (etwa 450 HLux oder etwa 3000 erg/sec. cm^2), während für die 100-Watt-Natriumlampe ein Abstand von 40 cm gewählt wurde (etwa 4600 erg/sec. cm^2). Die Bestrahlungsdauer betrug wieder 8 Stunden täglich (9.00 bis 17.00 Uhr). Die Temperatur unter den Lampen war wenig verschieden und betrug etwa 15° C. (min. etwa 12°, max. etwa 18° C.).

VERSUCH VI.

Tomate (*Solanum lycopersicum*). 27. Oktober 1933.

Eine Anzahl am 12. Oktober 1933 gesäter Tomatenpflanzen wird nach dem Pikieren am 27. Oktober in einer verdunkelten Zelle unter die beiden Lichtarte gesetzt. In jeden Abschnitt kommt eine Kiste mit 15 Pflanzen. Gleichzeitig wird eine derartige Gruppe von Tomatenpflanzen zur besseren Beurteilung der Wirkung des Natriumlichtes in das Hochspannungslicht von drei verschiedenen

Beleuchtungsstärken gebracht. Diese Beleuchtungsstärken sind 300, 800 und 1000 Lux, also etwa 2000, 5400 und 6700 erg/sec. cm². Die Bestrahlungsdauer beträgt ebenfalls acht Stunden (9.00 bis 17.00 Uhr).

Nach 10 Tagen ist ein Wachstum zu beobachten, die ersten Blätter entfalten sich. Es ist jedoch kein Entwicklungsunterschied zwischen den Pflanzen in Natrium- und in Niederspannungsneonlicht sichtbar, nur kräuselt sich das Blatt im Natriumlicht stärker nach unten um.

800 und 1000 HLux Hochspannungsneonlicht geben ein etwas rascheres Wachstum; 300 HLux bewirken ein etwas langsameres Wachsen als das Natriumlicht.

Am 10. November werden die Pflanzen zum erstenmal gemessen: die mittleren Ergebnisse sind in folgender Tabelle enthalten:

10. November 1933 Tomaten	Niederspannung		Neon-Hochspannung		
	Natrium 4600 erg/ sec. cm²	Neon 3000 erg/ sec. cm²	300 HLux = 2000 erg/ sec. cm²	800 HLux = 5400 erg/ sec. cm²	1000 HLux = 6700 erg/ sec. cm²
Länge in cm:					
1. Blatt	1,8	1,9	1,3	2,4	2,6
Hypocotyl	2,3	2,1	1,5	3,0	3,6
Verhältnis Blatt: Hypocotyl	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7

Man sieht auch hieraus, dass die Unterschiede zwischen den verschiedenen Neonbeleuchtungsstärken grösser sind als die zwischen dem Natrium- und dem Niederspannungsneonlicht.

Ein grundsätzlicher Unterschied in Entwicklung oder Habitus ist zwischen Hoch -und Niederspannungsneonlicht nicht festzustellen; die bestehenden Unterschiede kommen völlig auf das Konto der Beleuchtungsstärke. Dass hier ein Unterschied gemacht wird, geschieht lediglich zu dem Zweck, die Gruppen von Versuchspflanzen auseinanderzuhalten.

Es zeigt sich also, dass die höhere Beleuchtungsstärke Natriumlicht richtig gewählt ist und dass *bei hinreichender Beleuchtungsstärke mit Natriumlicht derselbe Erfolg zu erzielen ist wie mit Neonlicht.* Die hier benutzte Beleuchtungsstärke liegt wirkungsmässig zwischen 800 und 300 Lux Neonlicht, wie aus den Zahlen der Tabelle hervorgeht. Die Gedrungenheit der Natriumpflanzen, die auf Grund der Verhältniszahl Blatt : Hypocotyl zu beurteilen ist, entspricht derjenigen bei 800 HLux Neonlicht.

VERSUCH VII.

Tomate (Solanum lycopersicum). 9. Januar 1934.

Eine solche Natriumbeleuchtung wurde nun *in Verbindung mit Tageslicht erprobt.* Dabei wurden also unbestrahlte Pflanzen mit denen verglichen, die des Nachts während acht Stunden (22.00 bis 6.00 Uhr) Natriumlicht erhielten. Es wurde die schon in Versuch VI beschriebene 100-Watt-Natriumröhre und eine neue für 50 Watt benutzt, beide wieder in einem Abstande von etwa 40 cm von den Pflanzen, wodurch die Beleuchtungen im Mittel 4600 bzw. 3000 erg/sec. cm^2 betrugen. Die Temperatur betrug im Mittel 12° C. (min. 11°, max. etwa 13° C.).

Am 3. Januar werden Tomaten gesät und am 9. Januar in vier Kisten pikiert, jede mit 48 Stück. Zwei dieser Kisten bleiben unbestrahlt; von den beiden anderen kommt eine unter 100 W, die andere unter 50 W Natriumlicht. Nach einer Woche sind die Natriumpflanzen etwas höhergekommen, die Keimblätter sind ein wenig grösser und mehr aufgerichtet als die der unbestrahlten, bei denen diese Blätter fast völlig waagerecht liegen.

Nach 14 Tagen wird sichtbar, dass die Natriumpflanzen kräftiger sind, zwischen den beiden Natriumkisten untereinander besteht kein Unterschied. Das erste Blatt entwickelt sich rascher. Trotzdem ist das Wachstum bei allen Partien gegenüber normalen Treibhaustomatenpflanzen zu langsam, da der Bau der Versuchszelle mit sich bringt, dass das Tageslicht nicht voll zutreten kann.

Am 12. Februar ist das erste Blatt unter der 100-Watt-Natriumlampe im Mittel 2,8 cm lang, unter der 50-Watt-Lampe 2,6 und ohne künstliches Licht nur 0,9 cm. Die Unterschiede zwischen den beiden Natriumbeleuchtungsstärken sind also gering. Eine Woche später werden 30 Pflanzen von jeder Partie gewogen und getrocknet. Das Ergebnis ist:

19. Februar 1934 Tomaten	Frischgewicht (von 30 Pflanzen)	Trockengewicht (von 30 Pflanzen)	Zunahme des Trockengewichtes
Natrium 4600 erg/sec. cm^2	5,8 g	0,258 g	0,160 g
Natrium 3000 erg/sec. cm^2	4,5 g	0,208 g	0,110 g
unbestrahlt	2,1 g	0,098 g	—

Es zeigt sich also, dass die Stoffproduktion tatsächlich auch durch Natriumlicht erhöht werden kann. Die Zunahme des Trockengewichtes ist proportional den gegebenen Beleuchtungsstärken.

2. Quecksilberlicht gegenüber Neon-, Natrium- und Glühlampenlicht.

Obschon es also gelang, auch in ausschliesslichem Natriumlicht Pflanzen wachsen zu lassen, sofern die Beleuchtungsstärke hoch genug war, blieb doch immer die Schwierigkeit bestehen, vor allem bei Tomaten, dass die Pflanzen verspillerten und kräuselig wurden. Auch Neonlicht liess bei Ausschluss des Tageslichtes eine ähnliche Erscheinung sehen. Es bestand die Möglichkeit, dass die verabreichten Lichtmengen noch unzureichend waren, entweder weil die tägliche Bestrahlungsdauer zu kurz oder die Lichtstärke noch immer nicht hoch genug war. Eine Anpassung an die verhältnismässig geringe Lichtmenge durch die Verwendung niedriger Temperaturen vermochte keine Besserung herbeizuführen. Wie schon bei der Literaturbesprechung hervorgehoben wurde (Seite 318), bestand eine andere Möglichkeit darin, dass das Fehlen blau-violetter Strahlen beim Natrium- sowohl wie beim Neonlicht die Ursache der anormalen Entwicklung der Pflanzen sein konnte. Die Kohlensäureassimilation wäre dann zwar noch hinreichend gewährleistet, doch der formative Einfluss des Natrium- und Neonlichtes könnte versagen. Bei Verwendung als Zusatzbeleuchtung in Verbindung mit Tageslicht bemerkt man von diesen Nachteilen nichts, aber dann erhalten die Pflanzen auch eine gewisse Menge blau-violetten Lichtes. Bei Benutzung von Neonlicht ist eine normale Entwicklung dann leicht zu bewerkstelligen, nämlich durch richtige Regelung der Treibhaustemperatur, die für Tomaten verhältnismässig niedrig (etwa 13° C.) sein muss, so dass die Wachstumsgeschwindigkeit den verfügbaren Kohlehydraten entspricht (siehe Versuch XIII).

Da es also in künstlichem Licht allein viel schwieriger ist, normale Pflanzen zu züchten, lag es nahe, die Versuche mit Quecksilberlicht nochmals zu wiederholen. Die Verwendung von Quecksilberlampen mit ultraviolettdurchlässigem Glas führte in keiner Weise zum Ziel. Die verhältnismässig kurzwelligen ultravioletten Strahlen (280 Millimikron) wirken zu sehr beschädigend, als dass sie auch nur in geringer Stärke bei langer Bestrahlungsdauer verwendet werden könnten. Man erzielt entweder eine Beschädigung oder bei schwacher Dosierung überhaupt keine Wirkung. Ebensowenig war es möglich, die streckende Wirkung von Glühlampenlicht durch ultraviolette Strahlen aufzuheben.

Das einzige Licht, das also noch eine Möglichkeit, ohne Tageslicht normale Pflanzen zu züchten, offenliess, war das von Quecksilberdampfröhren aus gewöhnlichem Glas. Auf dem Gebiete dieser Röhren stand im Jahre 1933 nur der Typ der Gleichrichterröhren mit Quecksilberdampf unter niedrigem Druck zur Verfügung. Diese

besassen im Vergleich zu den Neonröhren eine geringe Lichtstärke, so dass nur eine Hochleistungslampe dazu geeignet sein konnte, ohne Tageslicht Erfolge zu erreichen.

VERSUCH VIII.

Tomate (*Solanum lycopersicum*). 7. Dezember 1933.

Es wird nun ein Vergleich zwischen *Neon-*, *Glühlampen-* und *Quecksilberlicht* unter völligem Ausschluss des Tageslichtes gezogen. In drei Versuchszellen wird je ein länglicher Reflektor aufgehängt, wie er in „Kunstlichtcultuur" 1930, Seite 32, abgebildet ist. Im ersten Treibhaus ist der Reflektor mit einer Niederspannungs-Neonröhre (Säulenlänge 140 cm, Gleichstromtyp) von etwa 800 Watt in einem Abstande von 55 cm zwischen Reflektor und Pflanzenkisten versehen, womit eine Beleuchtungsstärke von etwa 1200 HLux Neonlicht erzielt wird (etwa 8000 erg/sec. cm^2). Die zweite Zelle enthält einen Glühlampenreflektor mit vier Klarglas-Argalampen von 75 Watt, 135 Volt. Hier beträgt der Abstand 45 cm und die Beleuchtungsstärke etwa 1050 HLux (etwa 6600 erg/sec. cm^2). In der dritten Zelle befindet sich eine Niederspannungs-Quecksilberröhre (Gleichstromtyp, Säulenlänge 150 cm) von etwa 500 Watt, Abstand bis zu den Pflanzen 45 cm; die Beleuchtungsstärke beträgt etwa 500 HLux Quecksilberlicht (etwa 4500 erg/sec. cm^2). Um etwaige Temperaturunterschiede zu vermeiden, werden die Lichtquellen noch mit einer grossen Glasscheibe von den Pflanzen getrennt. Die damit einhergehende Verringerung der Lichtstärke ist in den vorerwähnten Zahlen bereits in Rechnung gesetzt. Eine Kontrolle der Temperatur unter den brennenden Lampen bei geschlossenen Zellen gibt mit einer Treibhaustemperatur von 13° C. bei Neonlicht 18°, bei Glühlampenlicht 18° und bei Quecksilberlicht 17,5° C. an. Über die gesamte Versuchsdauer beträgt die Temperatur im Mittel 14,5° C. (min. etwa 12°, max. etwa 17° C.).

In jeder Zelle werden lange flache Kisten mit Tomatenpflanzen gesetzt, nachdem sie am 7. Dezember 1933 pikiert waren. Schon nach einer Woche wird eine Messung vorgenommen, die folgende Ergebnisse liefert:

15. Dezember 1933 Tomaten	mittl. Länge in cm		Verhältnis Keimblatt : Hypokotyl
	Hypokotyl	Keimblatt	
Neon	1,9	2,3	1,2
Glühlampe	2,0	2,1	1,0
Quecksilber	1,4	2,0	1,4

Die Keimblätter sind also bei Neon am grössten und bei Quecksilber am kleinsten. Aus der Hypokotyllänge geht hervor, dass die Streckung unter dem Glühlampenlicht am stärksten und unter dem Quecksilberlicht am schwächsten ist. Das äussert sich noch deutlicher in den Verhältniszahlen, die ein Mass für den gedrungenen Wuchs geben und bei denen das Quecksilberlicht die höchste Zahl hat, also die beste Qualität liefert.

Die ersten wirklichen Tomatenblätter fangen sich nun zu entwickeln an, und zwar am raschesten unter dem Neonlicht. Wenn sie in den beiden anderen Zellen ebenfalls gross genug sind, wird nochmals eine Messung ausgeführt, mit folgendem Ergebnis:

3. Januar 1934 Tomaten	Hypokotyl h	Keimblatt k	k : h	1. Internodium (i)	1. Blatt (b)	b : i
Neon . . .	4,1 cm	4,1 cm	1,0	2,0 cm	4,7 cm	2,4
Glühlampe.	3,7 cm	3,4 cm	0,9	1,3 cm	2,4 cm	1,8
Quecksilber	2,6 cm	3,2 cm	1,2	0,4 cm	2,2 cm	5,5

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Lichtarten sind also im selben Verhältnis bestehen geblieben. Das Zurückbleiben im Wuchs unter dem Glühlampen- und dem Quecksilberlicht äussert sich jetzt jedoch deutlich in den Zahlen für das erste Internodium und das erste Blatt. Am schlimmsten ist dies beim Quecksilberlicht, wo die Blattentwicklung sehr langsam ist, wo die Pflanzen aber verhältnismässig doch den besten Habitus erhalten, wie man aus den Verhältniszahlen ersehen kann.

Am 5. Januar wurde eine Photographie gemacht (Abb. 2). Darauf ist zu sehen, dass die Neonpflanzen die besprochene Erscheinung des Abwärtsumbiegens der Blattspitzen und -zipfel aufweisen. Beim Glühlampenlicht kommt diese Erscheinung nur selten vor. Unter dem Quecksilberlicht sind alle Blätter gut flach gestreckt und dadurch auch verhältnismässig breiter, so dass die Quecksilberpflanzen das normalste Äussere zeigen.

Am 15. Januar wird der Versuch beendet und werden 20 Pflanzen aus jeder Kiste unmittelbar über dem Erdreich abgeschnitten und bei 105° C. bis auf konstantes Gewicht getrocknet. Die hieraus gefundenen Zahlen für das Trockengewicht sind:

15. Januar 1934 Tomaten	Trockengewicht (von 20 Pflanzen)	Intensitäten
Neon.	499 mg	8000 erg/sec. cm²
Glühlampe	144 mg	6600 erg/sec. cm²
Quecksilber	80 mg	4500 erg/sec. cm²

Die Stoffproduktion ist also im Neonlicht am grössten gewesen. Auch wenn man die 20 % höhere Lichtstärke in Rechnung setzt, bleibt das Trockengewicht doch noch erheblich über demjenigen von Glühlampenlicht. *Die Kohlensäureassimilation im Quecksilberlicht muss sehr gering gewesen sein.* Will man also mit dieser Lichtart etwas erreichen, so wird die verabreichte Lichtstärke beträchtlich erhöht werden müssen, um dieselbe Wachstumsgeschwindigkeit zu erzielen wie in Neonlicht.

1934—1935.

Es war nun sehr erwünscht, zur gleichzeitigen Erprobung von *Natrium-, Quecksilber-, Glühlampen- und Neonlicht in möglichst genau vergleichbaren Lichtstärken* überzugehen.

Die Möglichkeit dazu bot sich, als die Fabrikation von Hochdruckquecksilberlampen aufgenommen wurde. Ihre Lichtstärke, die viel grösser war als die der Niederdruck-Quecksilberröhren, gestattete die Einrichtung einer Beleuchtung, die besser mit Neonlicht zu vergleichen war. Inzwischen waren auch bessere Hilfsmittel zur Messung der Beleuchtungsstärken herausgekommen. Ursprünglich wurden die verschiedenen Beleuchtungen von Glühlampen und Neonröhren mit einem optischen Luxmeter nach VOEGE gemessen, das für Neonlicht wohl noch zu gebrauchen war, weil es auf dem Prinzip der Einstellung auf gleiche Helligkeit beruht und die absolute Strahlungsenergie von ein Lux Neonlicht keinen grossen Unterschied gegenüber derjenigen von ein Lux Glühlampenlicht zeigt. Da nun dieser Wert für Natrium- und Quecksilberlicht ein ganz anderer ist, war es erforderlich, die Beleuchtungen mit diesem Licht in absolute Strahlungsenergie umzurechnen, wodurch es möglich wurde, die vier erwähnten Lichtarten in zuverlässiger Weise miteinander zu vergleichen. Als Lichtmesser wurde jetzt ein einfaches objektives Lichtmesser verwendet, das Amalux der Metrawatt A.G. in Nürnberg-O., das von der Kommission für Pflanzenbestrahlung des „Nederlandsch Genootschap voor Verlichtingskunde" ausgesucht worden war. Das Gerät besteht aus einem kleinen Milliamperemeter und einer im Deckel angebrachten Selenphotozelle. Es gestattet Ablesungen bis 300 Lux, 5 Lux je Teilstrich. Für höhere Beleuchtungsstärken wurde die Zelle von uns mit einer Blende versehen, die die Anzeigen auf $^1/_{10}$ herabsetzt, so dass bis 3000 Lux gemessen werden kann. Für unseren Zweck war es nun erforderlich, das Amalux besonders für Natrium-, Quecksilber-, Neon- und Glühlampenlicht zu eichen, was in Eindhoven im physikalischen Laboratorium der N.V. Philips' Glühlampenfabriken geschah.

Die Luxwerte mussten danach in eine absolute Einheit für das gemessene sichtbare Licht umgerechnet werden, nämlich in erg/sec. cm^2, wozu die schon früher genannten Umrechnungszahlen benutzt wurden (also für 1 Hefnerlux Natriumlicht 1,8; Hochdruck-Quecksilberlicht 2,7; Glühlampenlicht 6,3 und Neonlicht 6,7 erg/sec. cm^2), nach Angaben von Dr. G. ZECHER, Eindhoven [1]).

Bei einem derartigen Vergleich der verschiedenen Lichtarten wird also die Strahlung im Infrarot und im Ultraviolett ausser Betracht gelassen. Das ist richtig, wenn die Kohlensäureassimilation beim Versuch im Vordergrund steht, denn dabei kommt es doch praktisch nur auf das sichtbare Licht an (siehe graphische Darstellung). Durch die Umrechnung wird die Augenempfindlichkeit als Fehlerquelle ausgeschaltet. Es war also nun möglich, eine Versuchsanordnung mit den vier Lichtarten in vergleichbaren Lichtstärken einzurichten, die jetzt im voraus auf eine gleiche Zahl von erg/sec. cm^2 eingestellt werden konnten.

Die Neonlampe war ein Pflanzenbestrahler, der kleiner (Säulenlänge 35 cm) und konstruktiv einfacher war als das früher benutzte Modell und seiner Leistung nach etwa der neuen Natriumlampe entsprach (100 Watt). Die letztere war eine bedeutende Verbesserung des Natriumlampentypes, der 1933—1934 verwendet wurde. Die Röhre war länger (30 cm) und der Wirkungsgrad wieder höher (100 Watt, 650 Dekalumen). Die Leistung der Glühlampe war etwas niedriger gewählt worden, um eine zu grosse Temperaturerhöhung im Versuchsabschnitt zu vermeiden. Die Quecksilberlampe bestand aus einer kurzen Entladungsröhre (9 cm), die von einem weiteren Rohr umgeben war, wodurch die Lampe auf Temperatur gehalten und der Dampfdruck des Quecksilbers auf 1 Atmosphäre während des Brennens der Lampe erhöht wurde (Abb. 4).

Eine verdunkelte Zelle wurde durch Zwischenwände in vier gleiche Abschnitte eingeteilt und mit den verschiedenen Lichtquellen ausgerüstet. Die Aufhängehöhen dieser Lampen wurden solange geändert, bis in allen Abschnitten in der Höhe der Pflanzen die Intensitäten etwa gleich waren und gut 4000 erg/sec. cm^2 betrugen, wie in unterstehender Tabelle angegeben ist.

---

1) Hierzu muss jedoch bemerkt werden, dass sich später gezeigt hat, dass die heutigen Natriumleuchtröhren noch etwa 5 Lumenprozent Neonlicht ausstrahlen, wodurch die 1,8 erg/sec. cm^2 von Natriumlicht eigentlich 15 % höher genommen hätten werden müssen.

Lichtquelle 220 Volt	Watt	Abstand in cm	Mittl. Beleuchtungsstärke in HLux	Umrechnungsschlüssel	Sichtbare Strahlung in erg/sec. cm² (abgerundet)
Natrium Philora SO 650 . . .	100	77	2480	1,8	4500
Quecksilber Philora HO 500. . .	150	61	1600	2,7	4300
Glühlampe Klarglas-Argalampe .	75	56	650	6,3	4100
Neon Kleiner Pflanzenbestrahler.	100	68	610	6,7	4100

Aus der Tabelle geht deutlich hervor, wie gross die Unterschiede in der Beleuchtungsstärke für das Auge (Lux) werden, wenn auf gleiche absolute Lichtenergie eingestellt wird. Die Intensität des Natriumlichtes ist etwas hoch, wurde jedoch an einer neuen Röhre gemessen, deren Lichtstärke nach verhältnismässig kurzer Benutzung noch abnimmt. Die Wattleistung je m² wurde bei dieser Versuchsanordnung nicht berücksichtigt, so dass z.B. der Leistungsaufwand beim Quecksilberlicht etwa zweimal so gross ist wie bei der Glühlampe. Bei Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung ist dies gebührend zu beachten.

VERSUCH IX.

Tomate (Solanum lycopersicum). 15. November 1934.

Die Lampen brennen täglich acht Stunden von 9.00 bis 17.00 Uhr; die Temperatur beträgt im Mittel 16,5° C. (min. etwa 15°, max. etwa 18° C.). Am 15. November 1934 wird in jeden Abschnitt eine Kiste mit 24 pikierten Tomatenpflanzen gesetzt, die am 2. November gesät wurden. In den nächsten Wochen entwickeln sich die ersten Blättchen, an denen Anfang Dezember deutlich zu sehen ist, dass sie unter Neon- und Natriumlicht grösser, unter Quecksilberlicht kleiner sind. Die Qualität ist jedoch unter dem Quecksilberlicht am besten. Hier liegen die Blätter gut flach, während sie unter den anderen Lichtarten ein wenig kräuselig werden. Am 10. Dezember werden sie gemessen, mit folgendem Ergebnis:

10. Dezember 1934 Tomaten	Natrium	Quecksilber	Glühlampe	Neon
1. Blatt in cm . . .	3,4	2,5	2,9	3,8
1. Internodium in cm	1,8	0,7	1,7	2,3

Die Wachstumsgeschwindigkeit ist also bei Neon am grössten und bei Quecksilber am kleinsten, genau wie beim vorigen Versuch. Bemerkenswert ist jedoch, dass das Natriumlicht einen so kleinen Unterschied gegen das Neonlicht ausmacht, nachdem jetzt dafür gesorgt ist, dass die Beleuchtungsstärken miteinander vergleichbar sind. Trotzdem ist das zweite Blatt bei Neonlicht am weitesten entwickelt (Abb. 3).

Am Ende des Versuchs, am 19. Dezember, werden alle Pflanzen am Boden abgeschnitten und Frischgewicht, Trockengewicht und Aschengehalt (in Gramm) bestimmt. Ergebnis:

19. Dezember 1934 Tomaten	Natrium	Quecksilber	Glühlampe	Neon
Frischgewicht . . .	4,43	2,88	3,79	5,34
Trockengewicht. . .	0,16	0,11	0,14	0,21
Aschengehalt. . . .	0,05	0,04	0,04	0,06
Organischer Stoff. .	0,11	0,07	0,10	0,15

Aus diesen Zahlen ergibt sich, dass das Natriumlicht bezüglich der Produktion von Pflanzensubstanz noch erheblich hinter dem Neonlicht zurückbleibt. Immerhin schneidet es besser ab als das Glühlampenlicht. Die Assimilation im Quecksilberlicht bleibt hinter derjenigen beim Glühlampenlicht zurück, so dass die einzige Möglichkeit zur Anwendung reinen Quecksilberlichtes darin besteht, diesen schlechten Wirkungsgrad für die Pflanze durch eine möglichst hohe Lichtausbeute der Lichtquelle auszugleichen, was vielleicht bei den Überhochdruck-Quecksilberdampflampen möglich ist.

VERSUCH X.

Gurke (Cucumis sativus). 27. Dezember 1934.

Derselbe Versuch wird wiederholt, jedoch mit einmal pikierten Gurkenpflanzen. Sie sind am 22. Dezember gesät. Am 27. Dezember, dem Tage des Pikierens, wobei je Abschnitt 20 Pflanzen in eine Kiste kommen, setzt sofort die Bestrahlung ein, wiederum acht Stunden täglich. Die Temperatur beträgt diesmal im Mittel 22° C. (min. etwa 20°, max. etwa 24° C.). Der erste Längenwuchs vollzieht sich naturgemäss unter dem Glühlampenlicht am raschesten, wodurch wahrscheinlich erklärt werden kann, dass hier infolge des rascheren Angehens keine Pflanzen eingehen.

Nach zehn Tagen hat sich an einer Reihe von Pflanzen bereits das erste Blatt entfaltet:

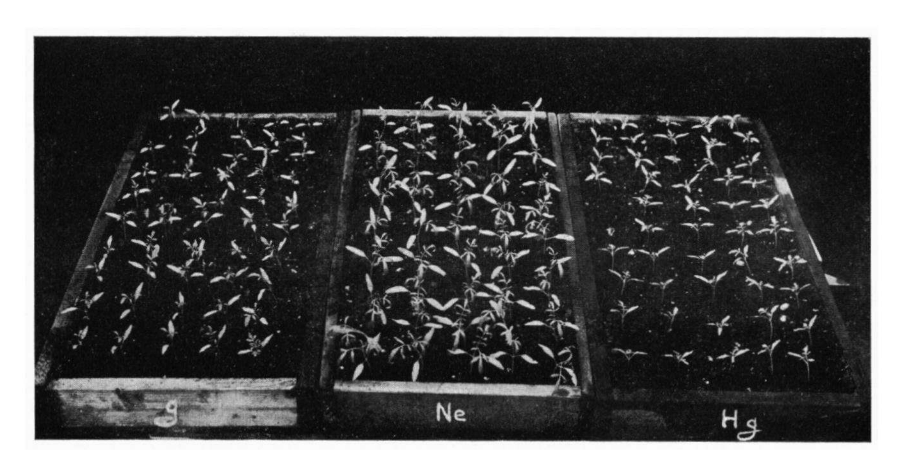


Abb. 2 *Tomate* (Solanum lycopersicum) Aufnahme 5. Januar 1934.
Varietät Ailsa Craig.

Versuch VIII. Gesät am 25. November 1933, ab 9. Dezember ohne Tageslicht täglich acht Stunden bestrahlt mit:

links Glühlampenlicht (g)	etwa 6600 Erg/sec cm^2
Mitte Neonlicht (Ne)	etwa 8000 Erg/sec cm^2
rechts Quecksilberlicht (Niederdruck) (Hg)	etwa 4500 Erg/sec cm^2

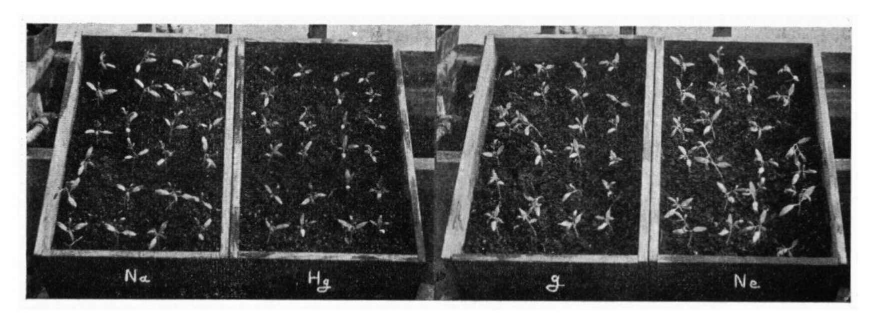


Abb. 3 *Tomate.* Aufnahme 12. Dezember 1934.

Versuch IX. Gesät am 2. November, ab 15. November ohne Tageslicht täglich acht Stunden bestrahlt, von links nach rechts:
Na. Natrium, Hg. Quecksilber (Hochdruck), g. Glühlampe, Ne. Neon, alle mit einer Intensität von gut 4000 Erg/sec cm^2.

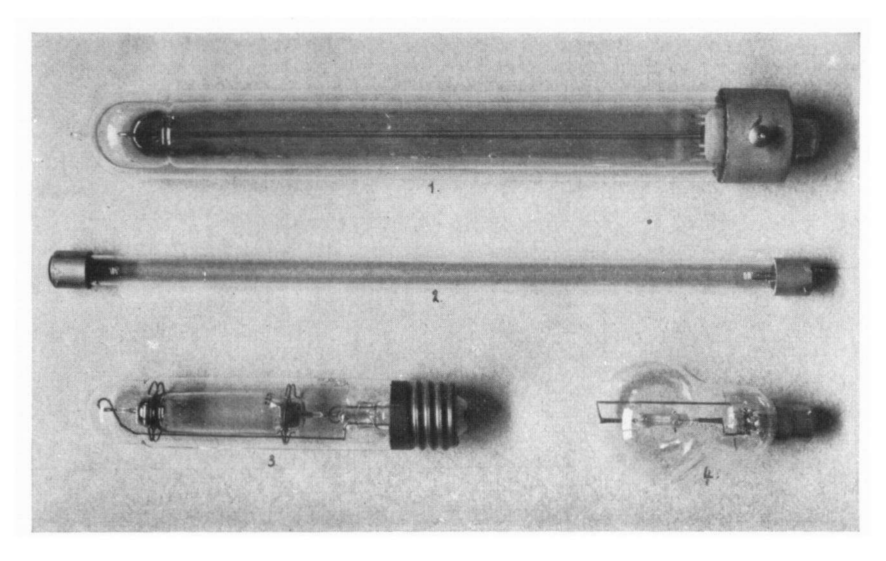


Abb. 4 *Verschiedene Lampentypen.*
1: 100 Watt Natrium, 2: 100 Watt Neon, 3: 150 Watt Hochdruckquecksilber, 4: 75 Watt Überhochdruckquecksilber.

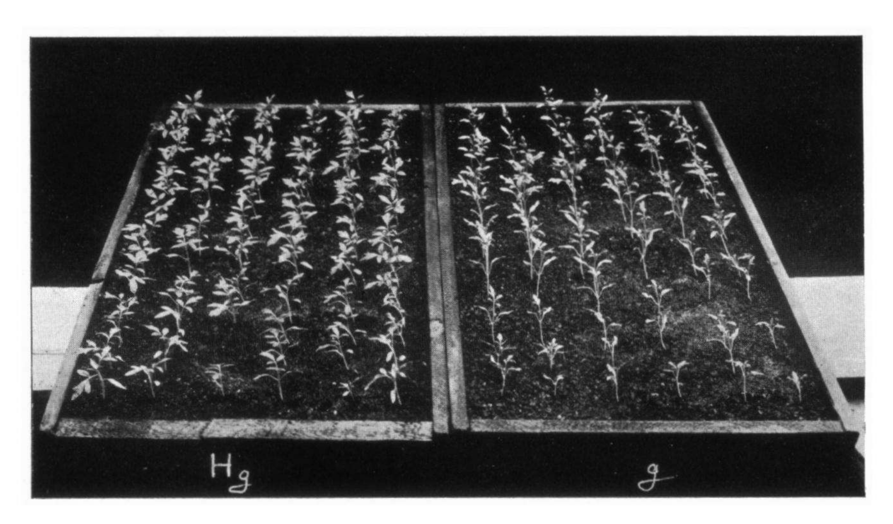


Abb. 5 *Tomate.* Aufnahme 19. Februar 1937.
Versuch XII. Gesät am 28. Dezember 1936, ab 10. Januar ohne Tageslicht täglich zwölf Stunden bestrahlt mit:
links: Überhochdruck-Quecksilberlicht (Hg).
rechts: Glühlampenlicht (g).

7. Januar 1935 Gurke	Zahl der Pflanzen mit entfaltetem erstem Blatt	Grösse des ersten Blattes	Länge des Hypokotyls am 11. Januar
Natrium	5	0,8 cm	3,0 cm
Quecksilber	4	0,6 cm	2,7 cm
Glühlampe	14	1,0 cm	5,0 cm
Neon	6	1,0 cm	2,6 cm

Die Glühlampenpflanzen sind also den anderen voraus, haben jedoch auch einen fast zweimal so langen Stengel.

Allmählich wird es klar, dass die Pflanzen unter Natrium- und Quecksilberlicht ungefähr dieselbe Entwicklungsgeschwindigkeit zeigen, ebenso wie die unter Glühlampen- und Neonlicht. Am 21. Januar ist das erste Blatt unter Natrium- und Quecksilberlicht 3 × 3 cm, unter den beiden anderen Lichtarten 5 × 6 cm gross.

Eine Woche später erscheinen bei zwei Pflanzen unter dem Neonlicht und bei einer unter der Glühlampe Ranken in der Achsel des zweiten Blattes. Beim Quecksilber- und Natriumlicht sind die Pflanzen noch nicht so weit gediehen, dass dies zu sehen ist. Später stellt sich jedoch heraus, dass bei diesen Gruppen keine Ranke in der zweiten Achsel vorkommen. Bei normal im Treibhaus gezüchteten Gurken erscheint die erste Ranke erst beim sechsten Blatt.

Die Länge des ersten Stengelgliedes beträgt jetzt im Mittel bei Natrium 2,0, bei Quecksilber 2,5, bei der Glühlampe 6,5, bei Neon 4,5 cm, woraus nochmals hervorgeht, dass Glühlampenlicht die stärkste streckende Wirkung hat. Diese Glühlampenpflanzen erhalten dann sehr lange, unstarke Stengel, die sich legen, die Cotylen verfärben sich gelb, die Blätter sind kleiner als bei Neonlicht und etwas grösser als bei Quecksilber- und Natriumlicht, wie aus der Grösse des zweiten Blattes hervorgeht (am 8. Februar, nämlich: Natrium 6,0, Quecksilber 6,0, Glühlampe 6,5 und Neon 8,0 cm). Der Versuch wird mit einer Messung beendet, die folgendes Ergebnis zeigt:

15. Februar 1935 Gurke	2. Blatt	3. Blatt	Gesamtlänge der Pflanze	Zahl der Pflanzen mit Ranken
Natrium	6,0 cm	4,9 cm	9,6 cm	4
Quecksilber	6,4 cm	6,3 cm	11,3 cm	7
Glühlampe	7,2 cm	7,5 cm	23,8 cm	15
Neon	7,5 cm	8,0 cm	18,4 cm	10

Die Verhältnisse sind hier also etwas anders als bei den Tomaten.

Vielleicht haben kleine Temperaturunterschiede noch eine Rolle gespielt, weil die Gurke dafür sehr empfindlich ist. Doch übrigens hat sich schon früher gezeigt, dass die Tomate anders reagiert. *Die Blattentwicklung ist bei der Gurke im Natriumlicht am geringsten*, während jetzt wieder das Glühlampenlicht dem Neonlicht nicht soviel unterlegen ist. Vielleicht gleicht dort die streckende Wirkung die geringere Assimilation aus, so dass das Blatt doch noch verhältnismässig gross wird.

1935—1936.

Hochdruck- gegenüber Niederdruck-Quecksilberlicht.

Die bei den beiden vorigen Versuchen verwendete Hochdruck-Quecksilberlampe besitzt nicht nur eine höhere Lichtausbeute, sondern überdies weist das ausgestrahlte Licht eine etwas andere spektrale Zusammensetzung auf. Bei dem höheren Druck von 1 Atmosphäre treten die gelben und grünen Quecksilberlinien mehr in den Vordergrund [1]). Es war daher von Bedeutung, zu prüfen, ob noch ein wirkungsmässiger Unterschied zwischen Hochdruck- und Niederdruck-Quecksilberlicht besteht. Die Möglichkeit dazu war gegeben, da wir noch über eine kleine Niederdruck-Quecksilbersäule verfügten (etwa 180 Watt). Ihre Lichtstärke war nicht gross, doch durch eine möglichst niedrige Aufhängung konnte noch eine ziemlich befriedigende Beleuchtung erreicht werden. Der Versuch wurde in einer verdunkelten Zelle durchgeführt, das in zwei Abschnitte eingeteilt war. In den einen kam die vorerwähnte Röhre, in den anderen Abschnitt eine Hochdruck-Quecksilberröhre von 150 Watt, wie sie zu den Versuchen IX und X benutzt wurde. Beide Lichtquellen waren in Reflektoren von ein und demselben Modell untergebracht. Der Abstand vom Reflektor bis zum oberen Rand der Pflanzenkiste betrug bei der Hochdrucklampe 89 cm, wodurch die Intensität des sichtbaren Lichtes im Mittel 1900 Erg/sec. cm^2 betrug. Bei der Niederdruckröhre betrug der Abstand vom Reflektor 40 cm und die mittlere Intensität 1300 Erg/sec. cm^2. Die Temperaturerhöhung unter den Lampen war noch verschieden: beim Hochdrucklicht 2° C., beim Niederdrucklicht 4,5° C. Aus diesem Grunde war es schon unmöglich, die Niederdrucklampe näher über den Pflanzen aufzuhängen, abgesehen von der Tatsache, dass dann die stark beleuchtete Fläche zu klein werden würde, um die ganze Pflanzenkiste zu bestreichen.

1) siehe LAX, PIRANI, ROMPE, 1935, Abb. 14.

VERSUCH XI.

Tomate (Solanum lycopersicum). 6. Dezember 1935.

Von einer Aussaat vom 16. November werden in zwei flachen Kisten 2 × 84 Pflanzen pikiert, die vorübergehend im gewöhnlichen Gewachshaus bleiben. Am 6. Dezember wird unter jede der Quecksilberlampen eine Kiste gesetzt, wonach die Bestrahlung sofort anfängt. Die Lampen brennen täglich acht Stunden (9.00 bis 17.00 Uhr). Die Temperatur beträgt im Mittel 22° C. (min. etwa 20°, max. etwa 25° C.). Nach elf Tagen werden alle Pflanzen gemessen, mit folgendem Ergebnis:

17. Dezember 1935 Tomate	Länge des Hypokotyls cm	Länge der Keimblätter cm
Hochdruck-Quecksilber. . .	1,56	2,18
Niederdruck-Quecksilber . .	1,32	2,18

Der Längenwuchs des Stengels ist also beim Hochdruck-Quecksilberlicht am stärksten. Die Keimblätter zeigen jedoch praktisch keinen Unterschied. Bemerkenswert ist, dass beim Hochdrucklicht die Temperaturerhöhung unter der Lampe viel geringer ist, während der Längenwuchs dort gerade am grössten ist. Allerdings ist die Intensität hier grösser, da die Lampe nicht höher aufgehängt werden konnte. Die Annahme erscheint daher gerechtfertigt, dass der Unterschied im Längenwuchs noch eine Folge der ungleichen Assimilation durch die unterschiedliche Lichtintensität ist. Nach dieser Behandlung kommen die Pflanzen am 17. Dezember wieder ins gewöhnliche Treibhaus zurück, da der Versuch infolge eines Defektes abgebrochen werden musste. Ausser dem Längenunterschied war übrigens kein Unterschied im Äusseren der Pflanzen zu sehen. Später war kein Unterschied in der Entwicklung mehr festzustellen.

Obschon dieser Versuch also nicht viel Unterlagen geliefert hat, ist immerhin auf jeden Fall *kein grundsätzlicher wirkungsmässiger Unterschied zwischen Hochdruck- und Niederdruck-Quecksilberlicht* zu beobachten. Das ist übrigens auch bei keinen der anderen Quecksilberlichtversuche zum Ausdruck gekommen.

1936—1937.

Überhochdruck-Quecksilberlicht.

Das Erscheinen der neuen Quecksilberdampflampen mit sehr hohem Dampfdruck (etwa 10 Atmosphären) veranlasste zu neuen Versuchen, da die Lichtausbeute dieser Lampen dermassen gesteigert worden war, dass die Möglichkeit bestand, dass jetzt auch das Quecksilberlicht in Wettbewerb mit den übrigen untersuchten Lichtquellen treten könnte. Das war bisher nicht der Fall, denn wie schon aus den vorhergehenden Versuchen hervorging, müssten bei Verwendung der gewöhnlichen Hochdruck-Quecksilberdampflampe (1 Atmosphäre) etwa dreimal soviel Watt je m^2 bepflanzte Fläche aufgewandt werden, um eine ebenso grosse Produktion organischen Stoffes zu erzielen wie in Neonlicht.

Nunmehr erhielt ich jedoch die Verfügung über eine luftgekühlte Überhochdruck-Quecksilberlampe von etwa 75 Watt, die Philora HP 300, die eine aussergewöhnliche Lichtstärke besitzt (HELLER 1936). Die Entladung erfolgt in einer kleinen Quarzkapillare (Säulenlänge 2 cm), die in einem gewöhnlichen Glaskolben angebracht ist. Die Lampe brennt in Reihe mit einer kleinen Drosselspule und zündet selbsttätig. Das kleine Quecksilberröhrchen erreicht eine sehr hohe Temperatur, wodurch auch die Temperaturstrahlung eine Rolle spielt, das Spektrum einigermassen kontinuierlich wird und die Infrarotstrahlung mehr in den Vordergrund tritt. Als Vergleichslichtquelle kam daher am ehesten die Glühlampe in Frage.

VERSUCH XII.

Tomate (Solanum lycopersicum). 10. Januar 1937.

Zwei Kisten mit je 90 pikierten Tomatenpflanzen, die am 28. Dezember 1936 gesät worden waren, werden in einer in zwei Abschnitte eingeteilten Versuchszelle gesetzt, das völlig gegen das Tageslicht abgeschlossen ist. Im einen Abschnitt hängt eine Glühlampe von 75 Watt (Klarglas-Argalampe, 220 Volt), im anderen die beschriebene Überhochdruck-Quecksilberlampe, ebenfalls von 75 Watt. Beide Lampen sind in Emaillereflektoren von gleichem Typ (Philuma) eingebaut, die in einem Abstande von 49 cm über den Kisten hängen. Da sich die Photozelle noch nicht für das neue Quecksilberlicht eignet, wird mit dem optischen Luxmeter gemessen. Die Beleuchtungsstärke in der Mitte des vorderen Kistenrandes unter der Glühlampe beträgt etwa 500 HLux, im Quecksilberlicht etwa 800 HLux. Die Glühlampenbeleuchtung ist über die ganze

Kiste im Mittel 2500 Erg/sec. cm². Für das Quecksilberlicht [1]) wird dieser Betrag wahrscheinlich nur etwa 1500 Erg/sec. cm², der Vergleich kann jedoch als wirklichkeitsgetreu betrachtet werden, weil die Wattstärke je m² für beide Lampen gleich gross genommen ist (gut 75 Watt je m²).

Die Bestrahlung, die am 10. Januar 1937 anfängt, dauert täglich zwölf Stunden (5.00 bis 17.00 Uhr) und wird sieben Wochen fortgesetzt. Die mittlere Temperatur beträgt 13,5° C. (min. etwa 10,5, max. etwa 16,5° C.).

Nach etwa einer Woche ist zu bemerken, dass die Pflanzen, vor allem die an den Enden der länglichen Kisten, schräg zur Lampe aufgerichtet sind. Diese Erscheinung ist unter der Glühlampe am stärksten; unter dem Quecksilberlicht zeigt sie sich in geringerem Masse, wahrscheinlich dank einer günstigeren Verteilung der Lichtrichtung. Die Quecksilberröhre, die senkrecht im Reflektor angebracht ist, strahlt lotrecht nach unten das wenigste, waagerecht das meiste Licht aus. Der Reflektor erhält infolgedessen mehr Licht zur Rückstrahlung als bei dem waagerecht ausgespannten Faden der Glühlampe, so dass die Intensität des reflektierten Quecksilberlichtes von grösserer Bedeutung ist und der Einfluss der Punktform der Lichtquelle besser korrigiert wird. Beim Quecksilberlicht beträgt die Beleuchtung an den Ecken der Kiste noch 70 % von derjenigen mitten unter der Lampe, bei der Glühlampe nur 45 %. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die Glühlampenpflanzen mehr zum Licht wachsen, weil sich das Hypokotyl am raschesten streckt. Die Stengel sind unter der Glühlampe nach achttägiger Bestrahlung etwa zweimal so lang. Dem steht gegenüber, dass die ersten wirklichen Blätter sich im Quecksilberlicht am schnellsten entwickeln. Am 27. Januar ist die Entwicklung so weit vorgeschritten, dass sich die Unterschiede deutlich abzuzeichnen beginnen. Entsprechend der ungleichmässigeren Lichtverteilung ist die Entwicklung unter der Glühlampe am unregelmässigsten. Mitten unter der Lampe ist das erste Blatt deutlich sichtbar, an den Seiten kommt es noch erst selten zum Vorschein. Die Länge der Pflanzen nimmt nach der Mitte hin zu. Viel regelmässiger ist die Länge der Hypokotyle unter dem Quecksilberlicht, während auch überall das erste Blatt deutlich zu sehen ist.

Eine Woche später hat sich das zweite Blatt unter dem Quecksilberlicht schon so weit entwickelt, dass es etwa ebenso gross ist wie das erste Blatt der Glühlampenpflanzen.

---

1) 1 HLux Überhochdruck-Quecksilberlicht hat etwa einen Energiewert von 2,3 Erg/sec. cm² sichtbare Strahlung.

Einen Monat nach Beginn der Bestrahlung ist der Unterschied gross geworden. Die Glühlampenpflanzen sind verspillert, das erste Internodium ist gestreckt, das Blatt ist schmal, vor allem das zweite Blatt ist spillig. Die Quecksilberpflanzen dagegen sind gedrungen. Hier ist das erste Internodium viel kürzer, das Blatt ist besser in die Breite gewachsen und hat daher ein normaleres Äusseres. Das zweite Blatt ist nicht nur länger, sondern auch breiter als das unter der Glühlampe.

Am 18 Februar werden alle Pflanzen gemessen, mit folgenden Mittelwerten:

18. Febr. 1937 Tomaten	Gesamtlänge	Länge des 1. Internodiums cm	Länge des ersten cm	Breite Blattes cm	Blatt: Internodium
Quecksilber . .	3,0	0,6	3,5	2,5	5,6
Glühlampe. . .	3,9	1,0	2,8	1,8	2,9

Bei der Glühlampe sind also die Stengelabmessungen, bei der Quecksilberlampe die Blattabmessungen am grössten. Das Verhältnis zwischen der Länge des ersten Blattes und der des ersten Internodiums zeigt, dass die Quecksilberpflanzen zweimal so gedrungen sind wie die Glühlampenpflanzen.

Das Quecksilberlicht gibt besser ausgebreitete Blattflächen, deren Farbe glänzend grün ist. Im Glühlampenlicht sind die Spitzen der Blattzipfel oft nach unten umgerollt. Das dritte Blatt kommt als ein schmaler Zipfel zum Vorschein. Die Blattfarbe ist etwas heller und matter als unter Quecksilberlicht. Die Blätter stehen schräg nach oben, was unter Quecksilberlicht nicht so stark der Fall ist, wie aus der Photographie vom 19. Februar zu sehen ist (Abb. 5).

Am 1. März wird der Versuch beendet und werden die Pflanzen an der Erde abgeschnitten, gewogen, getrocknet und verascht. Die Ergebnisse sind je 75 Pflanzen in Gramm:

1. März 1937 Tomaten	Frischgewicht	Trockengewicht t	Aschengehalt a	Organischer Stoff t—a
Quecksilber	18,50	0,93	0,25	0,68
Glühlampe.	14,24	0,60	0,21	0,39

Die Menge des organischen Stoffes ist also beim Überhochdruck-Quecksilberlicht erheblich grösser und beträgt 174 % derjenigen

bei einer Glühlampe gleicher Leistung. Bei der verhältnismässig niedrigen Wattzahl je m² ist die *Intensität dieses Quecksilberlichtes nunmehr also gross genug*, um die Assimilation bis auf eine Höhe zu steigern, bei welcher Blattentwicklung möglich ist.

C. PRAKTISCHE VERSUCHE IN VERBINDUNG MIT TAGESLICHT.

Die praktischen Versuche über die Eignung der verschiedenen Lichtquellen zur Ergänzung des Tageslichtes bei der Kultur in einem gewöhnlichen Treibhaus wurden hauptsächlich mit jungen Tomatenpflanzen und Erdbeeren fortgesetzt und weiter noch mit chinesischen Astern und winterblühenden Begonien. Bei den Tomaten stand die Förderung der vegetativen Entwicklung der jungen Pflanzen im Vordergrunde. Dabei war es vor allem von Bedeutung, zu entscheiden, wie die Kultur unter künstlichem Licht zu erfolgen hatte, ohne dass gelbe Blattflecken auftraten. Bei den Erdbeeren wurde besonders auf den Einfluss der Tageslänge geachtet.

1. Tomate. (*Solanum lycopersicum*).

Aus den Versuchen mit Tomatenpflanzen unter Neonlicht, die 1932 in Kunstlichtkultur II beschrieben wurden, hatte sich schon ergeben, dass das Auftreten gelber Flecken auf den Blättern bei verhältnismässig niedriger Treibhaustemperatur viel weniger ernstlich war als bei hoher Temperatur. Trotzdem wurde noch eine Reihe von Versuchen ausgeführt, um die richtige Behandlung für die Tomate zu ermitteln. Es würde zu weit führen, diese Versuche hier alle anzuführen, zumal keines der versuchten Mittel zu einem günstigen Ergebnis führte. Ebensowenig war eine Tomatenvarietät zu finden, die die gelben Flecken nicht aufwies. Weder Kalium- noch Eisen- oder Mangansalze waren imstande, das Übel zu verhüten. Das einzige wirksame Mittel blieb die *niedrige Temperatur*. Die hier folgende Beschreibung eines Versuches, der im Winter 1933—1934 durchgeführt wurde, lässt deutlich erkennen, wie in dieser Weise die Tomatenpflanzen gesund erhalten werden konnten.

VERSUCH XIII.

Neonlicht. 1933—1934.

Am 12. Oktober 1933 werden etwa 500 Stück der varietät Ailsa Craig in ein warmes Treibhausabteil in der gebräuchlichen Weise ausgesät. Die Pflanzen werden am 26. Oktober in acht Kisten von je 60 Stück pikiert. Von diesen kommt die Hälfte am 31. Oktober

unter einen grossen Neonstrahler, Modell Philips 4306 von 600 Watt, 380 Volt Wechselstrom. Der Abstand des unteren Reflektorrandes von den Kisten beträgt 1 m, wodurch eine Beleuchtungsstärke von etwa 1000 HLux Neonlicht verabreicht wird (etwa 6700 Erg/sec. cm^2). Die Bestrahlung erfolgt während acht Stunden je Nacht, nämlich von 22.00 bis 6.00 Uhr; die Temperatur wird von jetzt an niedrig gehalten (durchschnittlich 13° C., minimal etwa 11° C., maximal etwa 15° C.). Die anderen vier Kisten bleiben unbestrahlt, werden jedoch unter sonst gleichen Bedingungen gehalten. (Abb. 6).

Schon bald ist festzustellen, dass die bestrahlten Pflanzen von einem dunkleren Grün werden als die unbestrahlten. Gegen Mitte November ist dieser Farbunterschied sehr ausgeprägt, überdies sind bei den bestrahlten Pflanzen nun die beiden ersten wirklichen Blätter grösser als bei den Kontrollpflanzen.

Am 30. November werden zwölf Pflanzen von jeder Partie gemessen. Die mittleren Ergebnisse sind:

	bestrahlt	unbestrahlt
Anzahl gut entwickelter Blätter . .	4,3	3,2
Höhe der Pflanzen	7,5 cm	4,1 cm
Stengeldicke des Hypokotyls . . .	0,4 cm	0,2 cm

Die bestrahlten Pflanzen haben sich also kräftiger entwickelt. Zudem zeigen sie an der Spitze bereits das siebte Blatt, während bei den nichtbestrahlten erst das sechste sichtbar wird. Die Blattfarbe ist noch stets stark verschieden, vor allem die jüngsten Blätter der unbestrahlten Partie sind von einem viel helleren Grün. *Von gelben Flecken ist nichts zu sehen.*

Am 2. Dezember werden die Pflanzen eingetopft. Um absichtlich gelbe Flecke hervorzurufen, wird ein kleiner Teil der beiden Partien in ein wärmeres Treibhausabteil gesetzt, bei durchschnittlich 15° C. (minimal etwa 13° C., maximal etwa 19° C.), und in gleicher Weise weiter mit Neonlicht bestrahlt. Die grossen Partien bleiben im kalten Abteil und werden bei 13° C. weiterbestrahlt.

Die Wirkung der Bestrahlung tritt nun immer deutlicher in Erscheinung. Am 15. Dezember wird eine Reihe von sieben Pflanzen von jeder der vier Gruppen gemessen. Es werden folgende Ergebnisse gefunden:

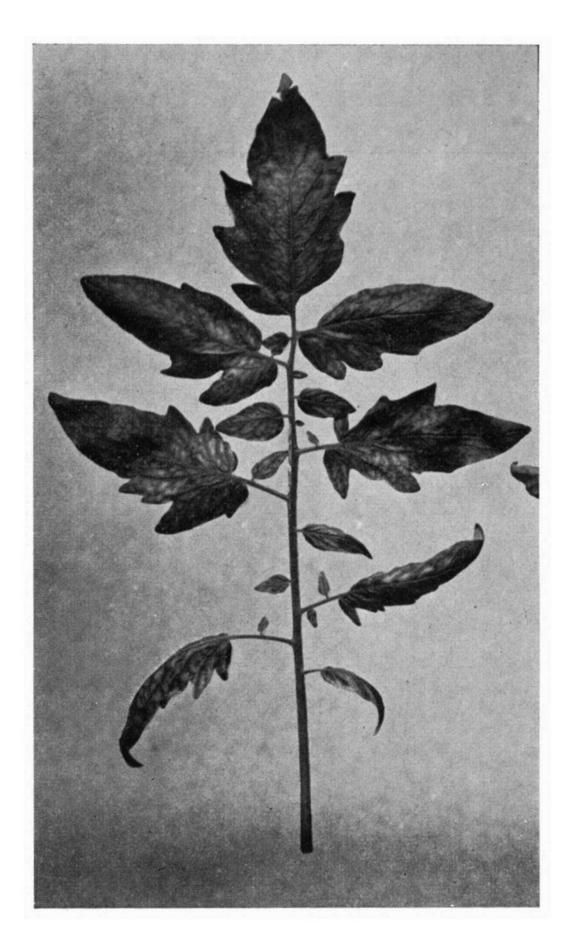


Abb. 7 *Tomate.*
Aufnahme 8. Januar 1934.
Blatt mit gelben Flecken zwischen den Nerven einer bei zu hoher Temperatur (16° C) mit Neonlicht gezüchteten Pflanze (6700 Erg/sec cm², 8 Stunden je Nacht).

Foto unten:
Abb. 6 *Tomate.*
Aufnahme 12. Januar 1934.
Versuch XIII. Gesät am 12. Oktober 1933.
links: ab 31. Oktober bestrahlt mit Neonlicht etwa 6700 Erg/sec cm², 8 Stunden je Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr),
rechts: unbestrahlt.
Über dem bestrahlten Abschnitt hängt das erste Modell des Neonpflanzenbestrahlers.



TAFEL XI.



Abb. 8 *Tomate.* Aufnahme 20. Januar 1936.

Versuch XV. Gesät am 9. Oktober 1935, ab. 23 November acht Stunden je Nacht bestrahlt (22.00 bis 6.00 Uhr) mit:

Na.	Natriumlicht	etwa 2800 Erg/sec cm²
Hg.	Quecksilberlicht (Hochdruck)	etwa 2600 Erg/sec cm²
Ne.	Neonlicht	etwa 3100 Erg/sec cm²
O.	Luftheizung, ohne künstliches Licht.	

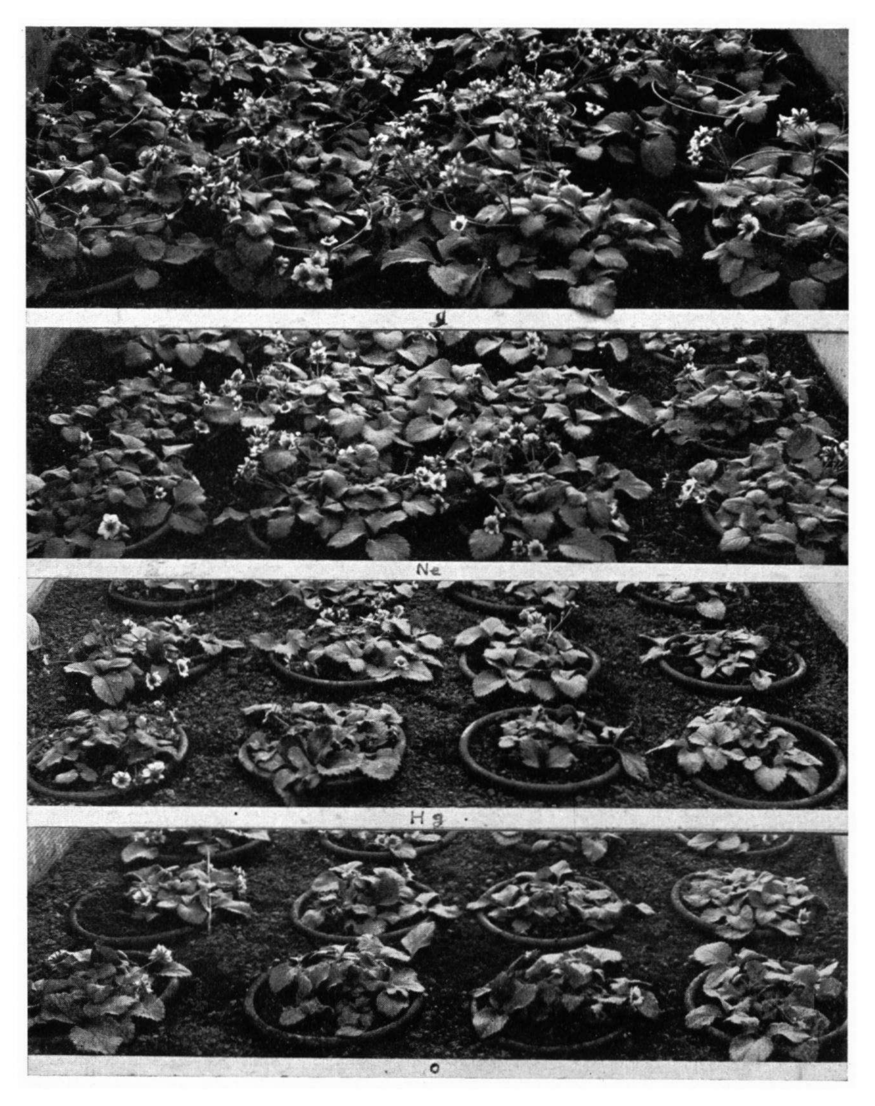


Abb. 9 *Erdbeere* (Fragaria) Aufnahme 20. Januar 1936.
Varietät Deutsch Evern.

Versuch XVII. Im Freien eingetopft am 19. Juli 1935. Im Treibhaus ab 7. Oktober acht Stunden je Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) bestrahlt mit:

g.	Glühlampenlicht	etwa 210 Erg/sec cm^2
Ne.	Neonlicht	etwa 210 Erg/sec cm^2
Hg.	Quecksilberlicht (Niederdruck)	etwa 180 Erg/sec cm^2
O.	unbestrahlt.	

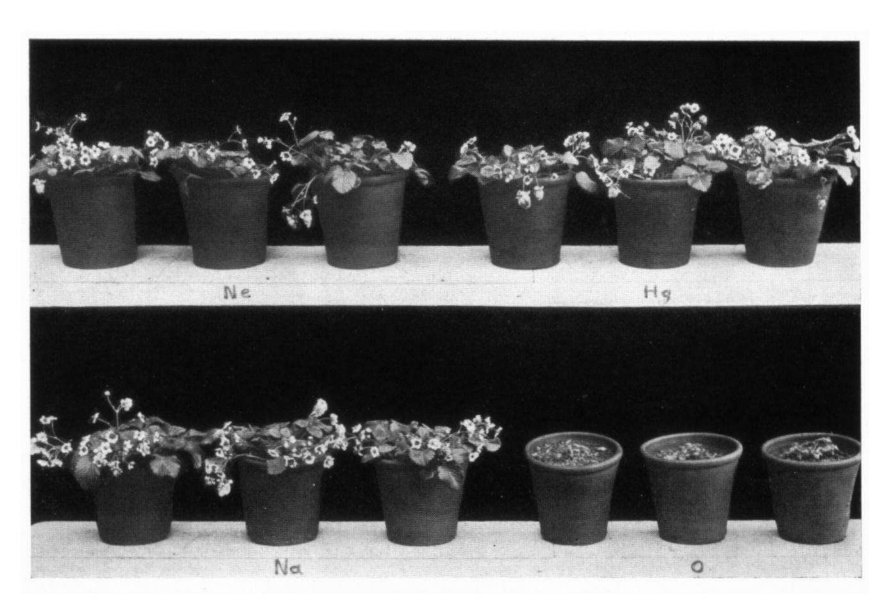


Abb. 10 *Erdbeere.* Aufnahme 11. Januar 1937.
Versuch XVIII. Im Freien eingetopft am 23. Juli 1936. Im Treibhaus ab 5. Oktober acht Stunden je Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) bestrahlt mit:

Ne.	Neonlicht	etwa 3100 Erg/sec cm²
Hg.	Quecksilberlicht (Hochdruck)	etwa 2600 Erg/sec cm²
Na.	Natriumlicht	etwa 2800 Erg/sec cm²
O.	Luftheizung ohne künstliches Licht.	



Abb. 11 *Winterblühende Begonie* Aufnahme 10. Februar 1938.
Varietät Optima.
Versuch XIX. Ansicht der Versuchsanordnung.
Von links nach rechts: Glühlampen, Überhochdruckquecksilber, Luftheizung, Natrium.

15. Dezember 1933 Tomaten	warm, 15° C.		kalt, 13° C.	
	bestrahlt	unbestrahlt	bestrahlt	unbestrahlt
2. Blatt, cm	14,5	9,3	10,1	5,6
2. Internodium, cm.	3,7	2,0	2,2	0,5

Unter dem Neonlicht sind offenbar die Blätter wesentlich grösser. Im kalten Abteil sind die Stengelglieder kürzer, so dass die Pflanzen ein kräftigeres und gedrungeneres Äusseres zeigen.

Gegen den 20. Dezember zeigen sich bei allen bestrahlten Pflanzen im warmen Abteil gelbe Flecken zwischen der Nerven, die unbestrahlten weisen dagegen keine Buntheit auf. Im kalten Abteil ist der Zustand jedoch günstiger, dort sind die Pflanzen unter dem Neonlicht, ebenso wie die unbestrahlten, frei von Flecken.

Am 22. Dezember ist es erforderlich, die Pflanzen im kalten Abteil weiter auseinanderzusetzen, wodurch wenigstens ein Teil nicht mehr weiterbestrahlt wird. Die Buntheit der Blätter der bestrahlten Pflanzen im warmen Abteil ist derartig, dass diese nach Mitte Januar nicht weitergezüchtet werden (Abb. 7). Die bis zum 22. Dezember im kalten Treibhaus bestrahlte Partie wird einen Monat später, am 22. Januar 1934, in grosse Töpfe von etwa 27 cm lichter Weite gesetzt. Die Abmessungen der Pflanzen sind nun im Mittel:

22. Januar 1934	Höhe	Breite
Neon	23 cm	25 cm
Kontrolle	12 cm	17 cm

Die Nachwirkung des Neonlichtes ist also nach einem Monat noch beträchtlich, aber nach zwei Monaten, am 22. Februar, betragen die durchschnittlichen Höhen: Neon 49 cm, Kontrolle 30 cm.

Am 22. März blühen alle bestrahlten Pflanzen bereits ausgiebig, während die unbestrahlten erst anfangen. Das Verhältnis ist an diesem Tage: 17 Infloreszenzen mit offenen Blüten bei den bestrahlten gegen 3 bei den Kontrollpflanzen. Es dauert indessen noch bis zum 12. April, ehe alle unbestrahlten Pflanzen in Blüte kommen. Die bestrahlten Pflanzen geben 14 Tage früher Früchte und behalten also bis zum Ende einen Vorsprung.

Mit einer niedrigen Treibhaustemperatur von durchschnittlich 13° C. kann man also gesunde und kräftige Tomatenpflanzen unter Neonlicht züchten, ohne dass gelbe Flecken auf den Blättern auf-

treten. Diese Möglichkeit konnte jedoch noch nicht restlos ausgenutzt werden, da die Fruchtansetzung, ebenso wie bei den unbestrahlten, zu wünschen übrigliess.

VERSUCH XIV.

Neon- und Natriumlicht. 1934—1935.

Im nächsten Jahre wurde dieses Zuchtverfahren bei niedriger Temperatur (etwa 13° C.) bei einem Versuch zum Vergleich von Neon- mit Natriumlicht angewandt. Es war dies das erste Mal, dass Natriumlicht unter normalen Treibhausbedingungen verwendet wurde. Die Natriumlampe hatte damals noch nicht ihre endgültige Ausführung; die Lichtausbeute war noch nicht so hoch, dass dem zu bestrahlenden Abschnitt überall eine dem Neonlicht vergleichbare Intensität gegeben werden konnte. Das 1 m breite Seitenbeet längs der Südseite des Treibhauses wurde mit niedrigen Eternitplatten, die in den Torfmull eingegraben waren und 60 cm herausragten, in Abschnitte eingeteilt. Über den ersten Abschnitt wurde ein Neonpflanzenbestrahler von 100 Watt gehängt, und zwar befand sich der Reflektor 60 cm über dem Torfmull, wodurch die Beleuchtungsstärke in Pflanzenhöhe im Mittel 480 HLux Neonlicht betrug. Der zweite Abschnitt erhielt eine Natriumröhre von 100 Watt, 550 Dekalumen, in einem Reflektor von gleichem Modell in einem Abstand von 42 cm. Der Abstand wurde soviel kürzer bemessen, um eine gleiche Lichtenergie zu verabreichen. Die Beleuchtung war derartig, dass die Neon- und die Natriumpflanzen durchschnittlich 3200 Erg/sec. cm^2 bekamen. Der dritte Abschnitt erhielt kein künstliches Licht.

Am 29. November wird auf jedem Abschnitt eine grosse Kiste mit 60 gerade pikierten Tomatenpflanzen (Varietät Ailsa Craig) eingegraben, die am 23. November gesät worden waren. Die Bestrahlung fängt noch am selben Abend an und dauert wie gewöhnlich acht Stunden je Nacht von 22.00 bis 6.00 Uhr. Die Neonpflanzen wachsen am raschesten. So betragt am 11. Dezember die Zahl der Pflanzen, bei denen das Blatt grösser ist als 0,8 cm, bei: Neon 50, Natrium 26, unbestrahlt 14.

Am 17. Dezember wird leider die Natriumlampe schadhaft, so dass als Notbehelf weiter eine 50-Watt-Röhre benutzt werden muss. Die Intensitäten werden nun wieder korrigiert: die Neonlampe wird höher gehängt, nämlich auf 69 cm, und die Natriumlampe tiefer, auf 38 cm Entfernung vom Torfmull. Hierdurch sinken die beiden Intensitäten auf durchschnittlich 2900 Erg/sec. cm^2. Am 10. Januar 1935 sind die Pflanzen unter dem Neonlicht so weit gediehen, dass

sie sich berühren, so dass alle Partien eingetopft werden. Zu diesem Zeitpunkt ist das vierte Blatt im Neonlicht 2 cm, im Natriumlicht 1 cm gross. Die Farbe des Blattes ist unter dem Neonlicht dunkler, unter dem Natriumlicht auch schön grün und bei der unbestrahlten Partie gelbgrün. Die Abmessungen der Pflanzen sind:

8. Januar 1935 Tomaten	Höhe der Pflanzen	Länge 2. Blatt	Länge Spitzenzipfel 2. Blatt	Breite Spitzenzipfel
Neon	8,0 cm	7,0 cm	4,0 cm	1,0 cm
Natrium.	6,0 cm	5,5 cm	3,0 cm	0,8 cm
unbestrahlt.	4,5 cm	3,5 cm	2,5 cm	0,6 cm

Beim Eintopfen zeigt sich auch wieder dieselbe Reihenfolge in der Grösse der Wurzeln, obschon die Unterschiede verhältnismässig gering sind. Die Pflanzen werden nun weiter auseinandergesetzt und nehmen die ganze Beetbreite ein. Vor allem auf dem Natriumabschnitt bringt dies jedoch den Nachteil mit sich, dass die Pflanzen, die jetzt weiter von der Lichtquelle entfernt sind, eine zu geringe Lichtintensität erhalten. Dadurch sind nach dem Eintopfen die absoluten Strahlungsintensitäten für Neon- und Natriumlicht nicht mehr gleich, was sich auch in den weiteren Ergebnissen äussert. Die Grösse der Pflanzen am 1. Februar geht aus folgenden Zahlen hervor:

15. Februar 1935 Tomate	mittlere Zahl von Blättern von mehr als 2 cm Grösse	Länge des 2. Blattes
Neon	5,5	8,5 cm
Natrium	5,0	7,5 cm
unbestrahlt	4,0	5,3 cm

In dieser Reihenfolge verläuft auch die Dicke der Stengel. Zu Ende der Bestrahlung bleibt die Natriumpartie immer mehr hinter den Neonpflanzen zurück, die ein breiteres Blatt und eine grössere Blattfläche haben. Die mittlere Höhe beträgt am 12. Februar unter dem Neonlicht 13,5 cm, unter dem Natriumlicht 8,5 cm und bei den unbestrahlten Pflanzen 6,0 cm. Bei den meisten Neonpflanzen sind jetzt Blütenknospen zu sehen, unter dem Natriumlicht nur einige und bei den unbestrahlten Pflanzen noch überhaupt keine.

Nachdem die Lampen am. 15. Februar endgültig ausgeschaltet wurden, wird die Treibhaustemperatur ein wenig erhöht, und zwar auf durchschnittlich 15° C. Die Pflanzen wachsen nun rasch weiter. Zwölf aus jeder Gruppe werden nacheinander in die grossen Töpfe gesetzt, in dem Augenblick, in dem sie dazu weit genug entwickelt sind (Neon 18. Februar, Natrium 22. Februar, unbestrahlt 26. Februar) und auf dem grossen Mittelbeet eingegraben. Obschon die Pflanzen nach dem Umtopfen stark durchwaschsen, bleiben die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bestehen. Die Höhe der Pflanzen betrug am 14. März im Mittel:

Neon 36 cm, Natrium 29 cm, unbestrahlt 27 cm. Die Neonpflanzen sind noch stets am grössten und kräftigsten, haben die dicksten Stengel und die dunkelste Farbe. Obschon die Natriumpflanzen nur wenig höher sind als die unbestrahlten und die Farbe etwa gleich ist, sind die doch von kräftigerem Äusseren. Am 20. März blühen drei Neonpflanzen, denen bald die Natriumpflanzen folgen, so dass am 25. März alle zwölf Neonpflanzen blühen, gegen sieben Natriumpflanzen, während die unbestrahlten noch nicht zu blühen angefangen haben. Trotzdem ist der Vorsprung nicht gross, die Verfrühung der Blüte beträgt bei Neon etwa eine Woche, bei Natrium vier Tage. Gegen Mitte Mai werden die Pflanzen oberhalb der fünften Infloreszenz eingetopft. Ende Mai sind drei Früchte auf dem Neonabschnitt reif; am 6. Juni werden geerntet: Neon 49, Natrium 22 und unbestrahlt 11. Trotzdem sind diese Unterschiede nur zahlenmässig, denn nach viermaliger Ernte sind am 21. Juni die Gesamterträge:

21. Juni 1935 Tomate	Ertrag	Gewicht in in Gramm
Neon	233	3960
Natrium	186	3878
unbestrahlt	155	3988

Die Gewichtsmengen sind also eigentlich gleich, so dass bei den bestrahlten Abschnitten der zahlenmässige Ertrag auf Kosten der Fruchtgrösse erhöht wurde. Die Tomaten werden am 24. Juli aufgeräumt, die Ertragsunterschiede bleiben im selben Verhältnis zueinander.

Beim ersten praktischen Versuch blieb also das Natriumlicht wirkungsmässig hinter dem Neonlicht zurück. Immerhin ist damit zu rechnen, dass in der zweiten Hälfte der Bestrahlungsperiode, also nach dem ersten Eintopfen, die Natriumintensität zu niedrig

gewesen ist, so dass der Unterschied nicht ganz auf das Konto des Unterschiedes in der spektralen Zusammensetzung kommt.

VERSUCH XV.

Neon-, Natrium- und Quecksilberlicht. 1935—1936.

Im nächsten Winter wurde deshalb die Einrichtung des Versuchs verbessert und gleichzeitig mit Quecksilberlicht erweitert. Das ganze Seitenbeet des kühlsten Abteiles des Treibhauses wurde dazu mit Eternitplatten in vier Abschnitte von je gut 1 m^2 eingeteilt. Der erste Abschnitt wurde mit einer Neonröhre von 100 Watt ausgerüstet, der zweite mit einer neuen Natriumröhre von 100 Watt (Philora SO 650 Dekalumen, also mit einer höheren Lichtausbeute als der der Röhre des vorigen Versuchs). Der dritte Abschnitt erhielt kein künstliches Licht, jedoch wohl eine Luftheizung von 100 Watt durch zwei reihengeschaltete Widerstände; über dem vierten Abschnitt wurde eine Hochdruckquecksilberlampe von 150 Watt (Philora HO 500) aufgehängt. Die Strahlungsquellen waren alle vier in einem länglichen, schmalen Reflektor von gleichem Modell untergebracht, der in einer Entfernung von 60 cm über dem Beet hing, was für Neon 460 HLux gab. Die Temperaturerhöhungen betrugen in dieser Entfernung mitten unter der Lampe nach 40 Minuten bei: Neon 1,2° C., Natrium 1,3° C., Heizung 1,6° C und Quecksilber 1,8° C. Die Reihenfolge der Bestrahlungen auf dem Beet war zielbewusst gewählt, so dass diese Temperaturunterschiede durch die geringe Temperaturabnahme in der Längsrichtung des Treibhauses, die gerade entgegengesetzt verlief, einigermassen ausgeglichen wurden. Der Leistungsaufwand war in jedem der Abschnitte also gleich (100 Watt), mit Ausnahme des Quecksilberlichtes, für das 150 Watt genommen werden mussten, um eine einigermassen vergleichbare Lichtintensität zu erreichen. Die Intensität des sichtbaren Lichtes betrug im Mittel bei Neon 3100, Natrium 2800 und Quecksilber 2600 Erg/sec. cm^2. Die Unterschiede waren also nicht allzu gross.

Die Lampen und auch die Heizwiderstände wurden in der üblichen Weise für acht Stunden je Nacht von 22.00 bis 6.00 Uhr eingeschaltet.

Am 9. Oktober 1935 werden die Tomatenpflanzen (Ailsa Craig) gesät und erst einen Monat lang in Kisten normal im Treibhaus gezüchtet. Am 21. November werden sie in kleine Töpfe gesetzt, in vier gleiche Partien sortiert und auf den Versuchsabschnitten zu je 49 Stück eingegraben. Am 23. November nimmt die Bestrahlung ihren Anfang. Die Temperatur schwankt wie gewöhnlich

zwischen 11° und 15° C. Im Dezember werden allmählich die Unterschiede sichtbar. Die Neon- und Natriumpflanzen wachsen ungefähr gleich gut, sie sehen kräftig aus, und die Farbe ist dunkelgrün. Die Quecksilberpflanzen sind nicht so kräftig, jedoch immerhin noch robuster und grüner als die unbestrahlten. Die unbestrahlten Pflanzen machen gegenüber den drei anderen Abschnitten den Eindruck einer geringeren Festigkeit, das Blatt ist viel heller gefärbt und fühlt sich auch dünner an. Das zweite Internodium, das sich in den ersten Wochen des Versuches entwickelt hat, ist bei Natrium am längsten, bei Quecksilber am kürzesten. Die Natriumpflanzen werden am dunkelsten grün gefärbt. Obschon das Quecksilberlicht Pflanzen liefert, die sich weniger rasch entwickeln, gibt diese Lichtart das schönste Äussere, weil die Blätter flacher ausgebreitet sind. Am 24. Dezember wird eine Anzahl von Pflanzen gemessen; die Längenmasse in cm sind:

24. Dezember 1935 Tomaten	3. Blatt	3. Internodium	4. Blatt	4. Internodium
Neon	13,4	2,9	13,6	1,2
Natrium	13,0	2,8	13,1	1,3
Quecksilber	12,6	2,6	12, 2	1,0
Kontrolle	11,5	2,0	11,0	1,0

Alle Lichtarten ergeben also grössere Pflanzen. Neon- und Natriumlicht haben den grössten Einfluss auf das Wachstum; unter dem Quecksilberlicht stehen die gedrungensten Pflanzen. Trotzdem geht die Entwicklung auf allen Abschnitten etwa gleich rasch vor sich, so ist z.B. am 7. Januar 1936 bei fast allen Pflanzen das 11. Blatt mit dem blossen Auge zu sehen.

Es wird jetzt ein Beginn von gelben Flecken auf dem Tomatenblatt unter dem Quecksilber- und Natriumlicht sichtbar. Am 9. Januar haben sieben Quecksilberpflanzen und eine Natriumpflanze gerade sichtbare gelbe Flecken. Die mittlere Temperatur wurde nämlich in den letzten Wochen um 1 bis 2° höher gehalten, um das Erscheinen der gelben Flecken zu begünstigen. Am 15. Januar sind mehr oder weniger gefleckt: bei Neon 10, bei Natrium 11, bei Quecksilber 22 Pflanzen; auf dem unbestrahlten Abschnitt kommen keine gefleckten Pflanzen vor. Auch der Grad der Fleckung ist bei den Pflanzen unter dem Quecksilberlicht am grössten. Die Unterschiede steigen also mit den Temperaturerhöhungen unter den verschiedenen Lampen, die ja bei 150 Watt Quecksilber ½° C. mehr betragen als unter den Neon- und Natriumlampen von 100 Watt.

In dieser Zeit werden die Blütenknospen im Herzen der Pflanzen sichtbar. Die Unterschiede sind nicht gross, am 10. Januar werden unter je 25 Pflanzen bei Neon 22, bei Natrium 20, bei Quecksilberlicht 20 und bei den unbestrahlten 16 mit Blütenknospen gezählt.

Die Bestrahlung wird am 16. Januar beendet, wonach eine Photographie aufgenommen wird, die also den Zustand zu Ende des Versuchs zeigt (Abb. 8). Die grössten Pflanzen werden mit Neon- und Natriumlicht erhalten, zwischen denen die Unterschiede nicht gross sind (etwa 32 bzw. 33 cm hoch). Wesentlich kleiner sind die Quecksilber- und Kontrollpflanzen (etwa 26 und 20 cm hoch). Trotzdem zeigen die Natriumpflanzen ein kraftloseres Äusseres als die Neon- und Quecksilberpflanzen, was auf die etwas geringere Qualität des Blattes zurückzuführen ist, das zuweilen eine Neigung zum Umkräuseln aufweist. Ferner sind die Pflanzen etwas mehr verspillert als die auf dem Neonabschnitt.

Zwölf Pflanzen jeder Gruppe werden in grossen Töpfen auf dem Mittelbeet weitergezüchtet. Die Höhenunterschiede bleiben monatelang sichtbar. So sind Ende März die Neon- und Natriumpflanzen noch gut 1 dm höher als die unbestrahlten und die Quecksilberpflanzen. Die erste Blüte öffnet sich bei allen Partien etwa gleichzeitig, nämlich Ende Februar.

Am 13. März ist die Zahl der offenen Blüten bei Neon 4, Natrium 11, Quecksilber 9, unbestrahlt 7. Die ersten Infloreszenzen haben am 1. Mai alle ihre Blüten geöffnet, und zwar bei:

Neon 69, Natrium 64, Quecksilber 80, unbestrahlt 63.

Der Tomatenertrag ist im allgemeinen nicht sehr günstig. Die Fruchtbildung lässt zu wünschen übrig. Es entwickeln sich zahlreiche kleine Früchte. Insgesamt beträgt die Zahl der Früchte bei: Neon 475, Natrium 464, Quecksilber 398, unbestrahlt 439.

Trotzdem ist das Ergebnis beim Quecksilberlicht nicht so schlecht, als man auf Grund dieser Zahlen schliessen sollte, denn das Durchschnittsgewicht je Frucht ist gerade hier am grössten. Für die Früchte normaler Grösse beträgt dieses Gewicht bei:

Neon 41,5, Natrium 38,5, Quecksilber 43,7, unbestrahlt 35,6 Gramm.

Aus diesem Versuch ergibt sich also, dass *mit Natriumlicht keine besonderen Vorteile verbunden sind*, obgleich der Einfluss auf das Wachstum der jungen Pflanzen nicht geringer war als den von Neonlicht. Das *Quecksilberlicht hat zwar einige günstige Eigenschaften*, doch ist hier die Wachstumsgeschwindigkeit erheblich geringer. Vor allem wenn man bedenkt, dass bei diesem Versuch

der Stromverbrauch 1½ mal so gross war wie bei den anderen Lichtarten, wurde hier keine ausreichende Wirkung erzielt. Wider Erwarten traten die *gelben Blattflecken* am stärksten unter dem Quecksilberlicht auf, woraus abzuleiten ist, dass sie *mit einem Mangel an blauvioletten Strahlen nichts zu tun* haben und nur die Temperatur maszgebend ist.

2. Erdbeere (*Fragaria*).

Im Herbst 1934 hatte sich gezeigt, dass schon eine niedrige Beleuchtungsstärke Glühlampenlicht (20 Lux) zur Verlängerung des Tages verwendet werden konnte, um Erdbeerpflanzen in den kurzen Tagen des Oktober am Wachsen zu erhalten (Roodenburg 1937). Es war nun von Bedeutung, in Erfahrung zu bringen, welche Wirkung derart niedrige Beleuchtungsstärken mit anderen Lichtarten ausüben würden. Es wurden dazu kleine Niederspannungsbogenlampen mit Neon- und Quecksilberdampf benutzt, die so aufgehängt waren, dass ihre Beleuchtungsstärken mit derjenigen des schwachen Glühlampenlichtes vergleichbar waren. Um noch in derselben Saison zu einem diesbezüglichen Urteil zu gelangen, wurden im Frühjahr 1935 nochmals Erdbeeren von draussen ins Treibhaus gebracht. Zudem war es fraglich, welchen Einfluss ein künstlich verlängerter Tag im Frühjahr haben würde, also bei Pflanzen, die den Winter im Freien verbracht hatten.

VERSUCH XVI.

Sehr schwaches Quecksilber-, Neon- und Glühlampenlicht.

Frühjahr 1935.

Im Erdbeerabteil des Treibhauses war ein Seitenbeet durch Eternitplatten in vier Fächer verteilt, über denen eine Niederdruck-Quecksilberdampflampe von 60 Watt, eine Neonlampe (Niedervoltbogen) von 75 Watt bzw. eine Glühlampe von 25 Watt (ganz mattiert, Arga 220 Volt) hingen; das vierte Fach erhielt kein künstliches Licht. Das Quecksilberlicht wurde mit einer Ultrasollampe Typ 5013 erzeugt, jedoch mit einem Kolben aus gewöhnlichem Glas. Die Lampen hingen in einer derartigen Höhe, dass die mittleren Lichtintensitäten in Blatthöhe betrugen:
bei Glühlampenlicht etwa 160 Erg/sec. cm^2 (etwa 25 HLux)
bei Neonlicht etwa 170 Erg/sec. cm^2 (etwa 25 HLux) und bei Quecksilberlicht etwa 150 Erg/sec. cm^2.

Die Lampen brannten jeden Abend acht Stunden in unmittelbarem Anschluss ans Tageslicht, nämlich von 17.30 bis 1.30 Uhr.



Abb. 12 *Winterblühende Begonie* Aufnahme 2. Februar 1938.
Versuch XIX. Mutterpflanzen, nach dem Stutzen ab 26. November 1937 acht Stunden je Nacht (17.00 bis 1.00 Uhr) bestrahlt mit:
Na. Natriumlicht etwa 3100 Erg/sec cm^2
g. Glühlampenlicht etwa 1700 Erg/sec cm^2
Hg. Quecksilberlicht (Überhochdruck).
O. Luftheizung, ohne künstliches Licht.

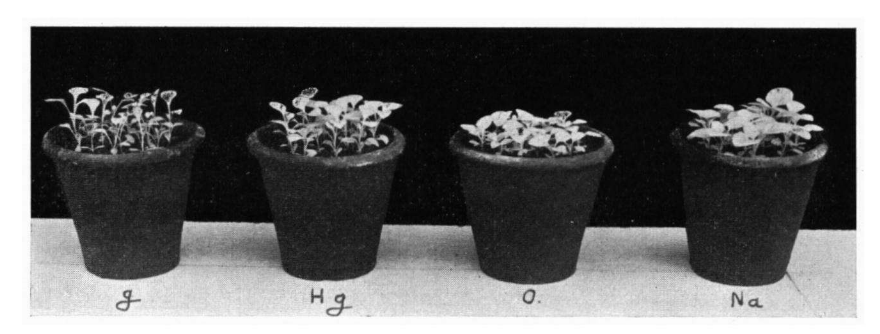


Abb. 13 *Chinesische Aster* (Calistemma chinensis) Aufnahme 2. Februar 1938. (Varietät Reine des Halles).
Versuch XX. Gesät am 8. Dezember 1937, ab 24. Dezember acht Stunden je Nacht (17.00 bis 1.00 Uhr) bestrahlt, von links nach rechts:
g. Glühlampenlicht etwa 2100 Erg/sec cm^2
Hg. Quecksilberlicht (Überhochdruck)
O. Luftheizung, ohne künstliches Licht.
Na. Natriumlicht etwa 2900 Erg/sec cm^2

TAFEL XV.



Abb. 14 *Chinesische Aster.* Aufnahme 21. März 1938.
Versuch XX. Gesät am 8. Dezember 1937, vom 24. Dezember bis 29. Januar acht Stunden je Nacht (17.00 bis 1.00 Uhr) bestrahlt mit:

g. Glühlampenlicht etwa 2100 Erg/sec cm^2
Hg. Quecksilberlicht (Überhochdruck).
O. Luftheizung, ohne künstliches Licht.
Na. Natriumlicht etwa 2900 Erg/sec cm^2

Am 12. Februar werden 80 Pflanzen (Deutsch Evern) im Topf hereingeholt und sortiert, so dass auf jedes Fach eine gleichwertige Partie von 20 Stück kommt. Die Bestrahlung beginnt am 15. Februar 1935, also bei einer natürlichen, astronomischen Tageslänge von etwa 10 Stunden. Die Treibhaustemperatur beträgt im Mittel 17° C. (min. etwa 13°, max. etwa 22° C,).

Die Pflanzen beginnen schon bald auszuwachsen, und *es zeigt sich keinerlei Stockung des Wachstums bei den unbestrahlten Pflanzen.* Die kurzen Frühjahrstage haben demnach nicht denselben Einfluss wie die kurzen Herbsttage. Das kann keine Folge unterschiedlicher äusserer Treibhausbedingungen zwischen Frühjahr und Herbst sein, sondern ist auf einen völlig geänderten inneren Zustand dieser Pflanzen zuruckzuführen, die im Freien überwintert haben. Hält man Erdbeeren den ganzen Winter hindurch in einem geheizten Gewächshaus (15° C.) bei kurzer natürlicher Tageslänge, so dauert der Ruhezustand auch im Frühjahr an. Die niedrige Temperatur des Winters ist mithin erforderlich, um die Pflanzen wieder zum Forcieren geignet zu machen.

Anfang März beginnen die Infloreszenzen zum Vorschein zu kommen. Sie schiessen rasch in die Höhe, ohne dass mit dem Auge Unterschiede bei den verschiedenen Beleuchtungen wahrzunehmen wären. Allmählich wird erst sichtbar, dass die Infloreszenzen auf dem unbestrahlten Fach ein wenig kürzer bleiben. Auch die Blattstiele zeigen eine ähnliche Erscheinung. Auf allen Fächern wachsen sie zu einer angemessenen Länge aus, es zeigen sich jedoch bei Messung am 9. April an 20 ausgewachsenen Blattstielen auf jedem Fach folgende Unterschiede:
Durchschnittslänge bei der Glühlampe 22 cm, bei Neon 19 cm, bei Quecksilber 17 cm, bei den unbestrahlten Pflanzen 15,5 cm.

Die Bestrahlung wird am 13. April beendet. Die natürliche Tageslänge ist jetzt zu gross, etwa 14 Stunden, um noch einen Einfluss des künstlichen Lichtes erwarten zu können. Am 20. April werden auf allen Fächern die ersten Früchte gepflückt. Der Gesamtertrag zeigt bei den verschiedenen Bestrahlungen keine wesentlichen Unterschiede. Nur unter dem Quecksilberlicht fällt die Ernte zahlenmässig etwas reicher aus. Obschon die Zahl der gepflückten Früchte genügend ist (etwa 10 Früchte je Pflanze), sind die Ertragszahlen von geringem Wert, da bei dieser Spätforcierung die Treibhaustemperatur für eine normale Kultur zu hoch ist.

Wichtig ist jedoch das Erscheinen von Ausläufern. Am 29. April wird bei zwei Pflanzen unter dem Glühlampenlicht ein Ausläufer wahrgenommen, wahrend auf den anderen Fächern noch nichts zu sehen ist. Am 17. Mai folgt das Neonfach mit einer Pflanze mit

zwei Ausläufern, gegenüber jetzt sieben Stolonen unter der Glühlampe. Die anderen Fächer zeigen keine Ausläufer. Diese verfrühte Bildung von Ausläufern infolge einer vergrösserten Tageslänge ist also unter dem schwachen Glühlampenlicht am deutlichsten, während dem Quecksilber diese Wirkung zu fehlen scheint, zumindest bei dieser geringen Intensität.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich bei den Infloreszenzen. Diese sind im allgemeinen sehr hoch verästelt, also mit einem langen, allgemeinen Blütenstiel. Seine Länge ist jedoch noch verschieden, wie aus einer am 22. Mai vorgenommen Messung hervorgeht, die folgende Mittelwerte ergab:

Glühlampe 19,8 cm, Neon 18,4 cm, Quecksilber 14,5 cm, unbestrahlt 14,8 cm.

Das Glühlampen- und das Neonlicht haben hier also doch noch eine geringe Langtagwirkung ausgeübt, während *das schwache Quecksilberlicht keine photoperiodische Wirkung zeigte* und praktisch dasselbe Ergebnis zeitigte wie der natürliche Tag.

VERSUCH XVII.

Sehr schwaches Quecksilber-, Neon- und Glühlampenlicht.

Herbst 1935.

Ein gleicher Versuch wie der vorige wurde früh im Herbst 1935 durchgefürht, also mit Erdbeerpflanzen, die noch nicht in der Winterruhe waren und auch noch keine Winterkälte mitgemacht hatten. Sie brauchten daher eine Verlängerung des Tages, um bei den kurzen Herbsttagen durchwachsen zu können. Diese Tagesverlägerung wurde wieder mit Hilfe sehr schwachen künstlichen Lichtes während acht Stunden je Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr) gegeben.

Über das erste Fach wurde wiederum eine Niederdruck-Quecksilberlampe, eine Ultrasol Typ 5013, 60 Watt (in Uviolglas), gehängt, die mit einer gewöhnlichen Glasscheibe abgeschirmt war, so dass die schädlichen Ultraviolettstrahlen nicht auf die Pflanzen einwirken konnten. Der Abstand vom Reflektor bis zu den Pflanzen betrug 58 cm, wodurch die mittlere Intensität 180 Erg/sec. cm^2 betrug.

Das zweite Fach erhielt kein künstliches Licht. Über dem dritten hing ein kleiner Neonstrahler mit einer Röhre von 25 Watt, 220 Volt (7 cm lang) in einer Entfernung von 102 cm. Die Beleuchtungsstärke betrug hier 31 HLux, entsprechend etwa 210 Erg/sec. cm^2.

Das vierte Fach wurde mit einer kleinen „Bi-Arlita" Glühlampe von 28 Watt, 220 Volt, in einem Emaillereflektor versehen, der in

100 cm Abstand über den Pflanzen hing. Die Beleuchtungsstärke betrug dadurch 33 HLux oder etwa 210 Erg/sec. cm². Die Abstände waren also wieder für die verschiedenen Lampen so gewählt, dass auf den bestrahlten Fächern eine gleiche Energiemenge an sichtbarem Licht verabreicht wurde, ausser beim Quecksilberlicht. Hier konnte die Intensität nicht ganz auf dieselbe Höhe gebracht werden, da bei einer niedrigeren Aufhängung der Lampe die Ecken des Versuchsabschnittes keine hinreichende Beleuchtung mehr erhalten würden. Es war nicht möglich, die Neon- und die Glühlampe in grösserer Höhe aufzuhängen. Wegen der geringen Intensitäten wurden besondere Massnahmen getroffen, um durch Abschirmung zu verhüten, dass das Licht anderer Lampen die Versuchsabschnitte erreichte.

Die Erdbeerpflanzen (Deutsch Evern), die als Ausläuferpflanze am 19. Juli 1935 in Blumentöpfe geplanzt worden waren, werden am 3. Oktober ins Treibhaus gebracht und sorgfältig in vier gleiche Gruppen von je 16 Pflanzen sortiert und auf den Versuchsabschnitten eingegraben. Es sind kräftige Pflanzen mit 15 bis 20 Blättern und 4 bis 6 Sprossen. Die Bestrahlung beginnt am 7. Oktober. Die Treibhausheizung setzt am 14. Oktober ein, weil die Nachttemperatur unterhalb 10° C. kommt. Die mittlere Temperatur beträgt nun weiter 16° C. (min. etwa 14°, max. etwa 19° C.). In der zweiten Oktoberhälfte werden die Unterschiede sichtbar. Bei den Pflanzen unter der Glühlampe und auch unter dem Neonlicht überragen die mittleren Blätter die älteren. Das junge Blatt ist langgestielt, die Blattstiele stehen senkrecht. An den Quecksilberpflanzen ist nicht viel Besonderes zu sehen. Sie unterscheiden sich wenig von den unbestrahlten, deren neues Blatt niedrig bleibt.

Mitte November werden die Unterschiede ausgeprägter. Die unbestrahlten Pflanzen bleiben niedrig und haben im Herzen viel junges Blattwerk, das jedoch nicht zur Genüge auswächst. Nur eine Pflanze zeigt eine Blütenknospe. Die Quecksilberpflanzen sind kaum höher, dunkler und gedrungen, und auch hier hat nur eine Pflanze eine Blütenknospe entwickelt. Ebenso wie bei den unbestrahlten, bleibt das junge Blatt im Herzen sitzen.

Die Neonpflanzen sind viel loser und scheinen daher viel grösser als die beiden vorigen Gruppen. Die Blattstiele sind länger, die Blattflächen grösser. Bei zwölf Pflanzen sind Blütenknospen zu sehen. Diese sind jedoch weniger weit entwickelt als diejenigen, die bei einem gleichzeitig laufenden, bereits 1936 veröffentlichten Versuch unter vierzehnmal so starkem Neonlicht (etwa 540 HLux oder etwa 3000 Erg/sec. cm²) zum Vorschein kamen (Siehe: „Strawberries under Neonlight"). Unter der Glühlampe sind die Pflanzen

unverkennbar höher, das Blatt ist grösser, jedoch hellfarbiger. 14 Pflanzen haben Blütenknospen. Diese sind bereits etwas weiter entwickelt als auf dem Neonabschnitt, die Blütenstiele strecken sich schon. Am 19. November öffnet sich hier die erste Blüte. Die Pflanzen sind nun durchschnittlich 11,5 cm hoch, gegen 10 cm bei den Neonpflanzen.

Am 22. November beträgt die Zahl der Pflanzen mit Blütenknospen bei der Glühlampe 16, bei Neon 16, bei Quecksilber 9 und bei den Kontrollpflanzen 8. Die Blütenknospen bei den Quecksilber- und bei den unbestrahlten Pflanzen sind klein, bei den letzteren ist jetzt eine Blüte offen, die einen kurzen Stiel hat und daher zwischen den Blättern versteckt ist.

Auf dem Neonfach sind einige Blütenstengel wohl gestreckt, so dass die Knospen besser zwischen den Blättern zu sehen sind. Am längsten gestreckt sind die Blütentrauben unter der Glühlampe. Hier überragen schon verschiedene Knospen die Blätter.

Am 29. November beträgt die Zahl der offene Blüten bei den 16 Pflanzen: Glühlampe 10, Neon 4, Quecksilber 1, unbestrahlt 2.

Die Streckung in dem schwachen Neonlicht ist unzureichend, im Gegensatz zu der unter dem schwachen Glühlampenlicht, bei dem die Pflanzen grösser und schöner geformt werden. Die Zahl der geöffneten Blüten beträgt bis einschliesslich 16. Dezember je Pflanze im Durchschnitt bei:

Glühlampe 5, Neon 3, Quecksilber 1½, unbestrahlt 1. Zum Vergleich diene, dass diese Zahl am selben Tage unter *starkem* Neonlicht 19 betrug; es muss hier allerdings erwähnt werden, dass die Pflanzen dieses Versuches ein wenig kräftiger waren. Ausser in der Zahl der Blüten, die zur Entfaltung kommt, bestehen grosse Unterschiede in der Weise des Auswachsens. Bei den unbestrahlten und bei den Quecksilberpflanzen bleiben die Blüten häufig zwischen den Blättern verborgen, weil der gemeinsame Blütenstengel nicht auswächst und meist von aussen nicht zu sehen ist. Daher erfolgt die Verästelung im Herzen der Pflanze, so dass der Teilungspunkt nicht zu sehen ist und die wenigen Blütenstiele jeder einzeln aus ein und derselben Stelle des Herzens zum Vorschein kommen. Ein einzelnes Mal tritt ein sehr kurzer, sich sofort verzweigender Blütenstengel auf, woran also gut zu erkennen ist, dass der Mangel dieser Pflanzen im Nichtauswachsen des Hauptstengels der Blütentraube liegt. Diese Erscheinung lernten wir schon früher als eine Folge einer zu geringen Tageslänge kennen. Das schwache Quecksilberlicht wirkt demnach nicht tagesverlängernd.

Das ist dagegen wohl einigermassen mit dem schwachen Neonlicht der Fall. Hierbei sind die gemeinsamen Blütenstengeln tat-

sächlich zum Vorschein gekommen, bleiben jedoch noch zu kurz, so dass der Verzweigungspunkt meist unter dem Blatt verborgen bleibt. Die Seitenknospen entwickeln sich hier wohl, wodurch mehr Blüten entstehen.

Bei den Pflanzen unter der Glühlampe sind die Blütenstengeln lang. Der Verzweigungspunkt liegt hier bei den völlig ausgewachsenen Stengeln, etwa ebenso hoch oder ein wenig höher als das Blatt, das auf diesem Fach auch schon die längsten Stiele hat. Die Glühlampenpflanzen zeigen also am ausgeprägtesten den Langtaghabitus.

Ende Dezember gehen die unbestrahlten und die Quecksilberpflanzen stark zurück, es sterben viele Blätter ab, und das junge Blatt wächst nicht mehr aus. Es erscheinen schwarze Flecken auf den Blättern, zuweilen verfärben sich die jungen Blätter auch schwarz. Im übrigen bleibt die Blattrosette gedrungen und flach.

Die letztere Erscheinung ist auch bei den Neonpflanzen zu beobachten, obschon das junge Blatt hier noch ein geringes Wachstum zeigt und von den alten Blättern mehr erhalten geblieben sind. Die Glühlampenpflanzen halten sich noch am besten in dieser dunklen Winterszeit. Sie weisen noch das stärkste Wachstum auf, und es ist hier die kleinste Blattmenge verlorengegangen; auch treten keine schwarzen Flecken auf. Trotzdem ist es kein starkes Gewächs. Die Blütenstiele stehen schräg nach oben, im Gegensatz ze denen unter den anderen Beleuchtungen, unter denen sie flacher liegen.

Im Laufe des Januar zeigen die unbestrahten und die Quecksilberpflanzen ein immer kümmerlicheres Äusseres infolge des Verlustes des grossen Blattes. Ende Januar erscheinen auf allen drei bestrahlten Fächern Blüten einer zweiten Blüte. Die Fruchtansetzung ist sehr schlecht. Nur auf dem Glühlampenfach entwickeln sich langsam einige Früchte. Am 13. Januar wird dort die erste Erdbeere gepflückt, also zwei Wochen später als bei dem *starken* Neonlicht. Am 1. März wird die Bestrahlung beendet. Es sind bis dahin insgesamt nur neun Früchte auf dem Glühlampenfach, also von 16 Pflanzen, geerntet. Das Neonfach hatte am 26. Februar eine Frucht geliefert. Auf den beiden anderen Fächern war keine Ernte möglich. In den nächsten 14 Tagen geben die Glühlampenpflanzen nochmals neun Früchte, so dass insgesamt 18 Früchte mit einem Gesamtgewicht von 103½ Gramm geerntet werden, also nicht viel mehr als eine Erdbeere je Pflanze. Der Ertrag lässt also sehr viel zu wünschen übrig, vor allem bei einem Vergleich mit den Pflanzen unter starkem Neonlicht, von denen über zehn Früchte je Pflanze gepflückt wurden. *Das schwache*

Glühlampenlicht gibt also zwar gut ausgewachsene und reich blühende Pflanzen, die jedoch im Winter über zu wenig Kraft verfügen, um eine befriedigende Fruchtbildung zu ermöglichen. Eine erhöhte Kohlensäureassimilation kann hierbei also doch nicht entbehrt werden.

Am 17. März werden zum Schluss noch die Blütenstiele gezählt und gemessen, was folgende Mittelwerte ergibt:

17. März 1936 Erdbeere	Zahl der Blütenstengeln je Pflanze	Länge des Hauptstengels	Länge des Blütenstiels der 1. Blüte	Gesamtlänge der Blütentraube	Zahl der Blüten je Traube
Glühlampe. . .	6,7	9,2	0,7	19,9	6—12
Neon	6,9	3,6	8,0	11,6	5—10
Quecksilber . .	4,1	0,8	7,7	8,5	3—6
unbestrahlt. . .	4,7	0,7	6,8	7,5	—

Bis zum Ende des Versuchs öffnen sich überall noch neue Blüten. Trotzdem ist das sonnige Frühjahrswetter nicht imstande, die Wachstumsstockung bei den unbestrahlten und den Quecksilberpflanzen aufzuheben. Die Pflanzen bleiben bis zuletzt in einem „halben Winterruhezustand", was hier also besagen will, dass die Blattrosette kaum noch wächst und durch Blattverlust zusammenschrumpft, während demgegenüber jeweils noch wieder eine einzelne Blüte zum Vorschein kommt.

Im Glühlampenlicht war diese Wachstumsstockung also völlig aufgehoben, während die Neonpflanzen zwischen die unter der Glühlampe und die unbestrahlten einzuordnen waren. Die Wirkung *der zu knappen Tageslänge wurde durch sehr schwaches Neonlicht nur teilweise unterbunden,* was auf die zu niedrige Intensität zurückzuführen ist, die hier benutzt wurde. Starkes Neonlicht ist nämlich ganz bestimmt imstande, einen vollständigen Langtageffekt zu geben.

VERSUCH XVIII.

Starkes Neon-, Natrium- und Quecksilberlicht. 1936—1937.

Es war also nun weiterhin von Bedeutung, zu ermitteln, wie der Tageslängeneinfluss verschiedenfarbiger Lichtquellen bei grösserer Beleuchtungsstärke ist. Dazu wurde dieselbe Versuchsanordnung benutzt, die in der vorigen Saison für die jungen Tomatenpflanzen verwendet worden war (Versuch XV), also wieder vier Fächer von 1 m^2 mit 100 Watt Neon, Natrium bzw. Luftheizung und 150 Watt Hochdruck-Quecksilberlicht. Die Reflektoren hingen wieder alle

gleich hoch, nämlich in 60 cm Entfernung, so dass die mittleren Intensitäten wiederum betrugen: für Neon 3100, für Natrium 2800, für Quecksilber 2600 Erg/sec. cm².

Aus einer Partie Erdbeerpflanzen (Deutsch Evern), die am 23. Juli in Töpfe geplanzt waren, werden am 2. Oktober 64 einwandfreie ausgesucht, ins Treibhaus gebracht und in vier gleichwertige Gruppen sortiert. In jedem der Fächer werden also 16 Töpfe eingegraben. Die Bestrahlung beginnt am 5. Oktober und dauert wieder wie gewöhnlich acht Stunden je Nacht von 22.00 bis 6.00 Uhr. Die Temperatur beträgt im Mittel 17° C. (min. etwa 14°, max. etwa 21° C.). Infolge der frühen Blütenanlage dieses Jahres haben verschiedene Pflanzen sofort Blüten, die jedocht für den Versuch von keiner Bedeutung sind, weil sie sich Ende September an „Kurztag-Infloreszenzen" entwickelt haben. Nach etwa zehn Tagen fängt überall das junge Blatt an in die Höhe zu kommen. In der zweiten Oktoberhälfte werden die Unterschiede deutlich. Bei den unbestrahlten Pflanzen ist das junge Blatt u.a. infolge der elektrischen Luftheizung zwar noch etwas ausgewachsen, doch ist die Länge der Blattstiele geringer als auf den bestrahlten Fächern. Unter dem Neon-, Natrium- und Quecksilberlicht ist der Längenwuchs viel stärker, gegenseitige Unterschiede sind jedoch offenbar nicht vorhanden. Am 27. Oktober, also nach dreiwöchiger Bestrahlung, ist das Wachstum weit genug vorgeschritten, um zu einer Messung des in dieser Zeit neu ausgewachsenen Blattes schreiten zu können.

27. Oktober 1936 Erdbeere	Neon	Natrium	Quecksilber	Kontrolle
mittl. Länge der Blattstiele	6,7 cm	5,9 cm	6,3 cm	4,1 *cm*
mittl. Breite des Blattes	8,8 cm	7,8 cm	8,8 cm	8,0 cm

Die unbestrahlten Pflanzen bleiben immer mehr zurück, die Blattrosette wird flach. Das junge Blatt kommt nur noch wenig in die Höhe. Die Natriumpflanzen sind bedeutend grösser und mehr ausgewachsen. Trotzdem zeigt sich aus den Zahlen, dass der Längenwuchs der Blattstiele noch etwas geringer ist als bei Quecksilber- und Neonlicht. Die beiden letzteren Lichtarten geben auch ein etwas grösseres Blatt.

Die neuen Blütenknospen werden jetzt auf den drei bestrahlten Fächern sichtbar. Leider zeigt sich, dass das Pflanzenmaterial nicht gesund ist, verschiedene Exemplare sind von Milben (Tarsonemus) angegriffen, so dass die schlechtsten Pflanzen entfernt und

die Gruppen am 18. November auf je 12 Pflanzen verkleinert werden müssen. Es ist möglich, dass die Blüteergebnisse durch diese Krankheit beeinträchtigt werden, so dass man den Zahlen keinen zu grossen Wert beimessen kann. Am 7. Dezember werden an offenen Blüten gezählt: Kontrolle 4, Neon 25, Natrium 37, Quecksilber 34. Der grosse Unterschied liegt also auch hier zwischen den bestrahlten und den unbestrahlten Pflanzen. Das Äussere der Pflanzen ist in diesem Augenblick am schönsten unter Natrium- und Quecksilberlicht, wo das Blatt von einem dunkleren Grün ist und sich kräftiger anfühlt als bei Neon, während auch die Qualität der Blüten besser ist. Die Kontrollpflanzen schrumpfen durch den Verlust des grossen, alten Blattes und durch das Ausbleiben eines weiteren Wachstums immer mehr zusammen.

Alle bestrahlten Gruppen geben Blütentrauben vom Langtagtypus, also mit gut ausgewachsenem Hauptstengel und befriedigenden Verzweigungen. Unterschiede zwischen den drei Lichtarten bestehen in dieser Hinsicht eigentlich nicht, nur stehen die Blütenstiele bei Natriumlicht weniger aufrecht als bei Neon- und Quecksilberlicht.

Obschon also bei hinreichender Intensität alle drei Lichtarten imstande sind, eine Langtagwirkung herbeizuführen, wird im Laufe des Dezember das Wachstum unter Natriumlicht doch geringer, wodurch die Blattrosette ziemlich flach bleibt. Anfang Januar bilden sich überall Früchte. Am 15. Januar beträgt die Zahl der Blüten je 12 Pflanzen bei den Kontrollpflanzen 9, bei Neon 136, bei Natrium 190 und bei Quecksilber 161. Von den Kontrollpflanzen haben 11 überhaupt keine Blüte, die neun Blüten sitzen an ein und derselben Pflanze. Bei diesen Pflanzen sind die grossen Blätter fast restlos verschwunden, so dass sie nur noch aus eine sehr kleinen Rosette junger Blätter bestehen (Abb. 10). Am 9. Februar wird die Bestrahlung beendet. Die ersten Früchte werden am 1. Januar 1937 gepflückt. Die Lese dauert bis zum 16. März. Die Erträge sind:

1. Januar—16. März 1937 Erdbeere	Gewicht	Anzahl				
		Insgesamt	1. Qual. über 9 Gramm	2. Qual. 6—9 Gramm	3. Qual. 3—6 Gramm	Ausschuss unter 3 Gramm
Neon 10 Pflanzen	209 g	75	2	6	16	51
Natrium 10 Pflanzen	242 g	92	1	1	17	73
Quecksilber 12 Pflanzen	219 g	70	1	4	22	43
Kontrolle 12 Pflanzen	5 g	1	—	—	1	—

Beim Aufräumen, am 18. März, werden die Pflanzen nochmals gemessen. Die Kontrollpflanzen wurden bereits am 26. Februar entfernt, weil sie fast alle ganz abgestorben waren. Die Messung liefert folgende Mittelwerte:

18. März 1937 Erdbeere	Höhe der Pflanzen	jüngstes Blatt		Blütenstengel länge	Zahl der Blüten je Pflanze
		Blattstiellänge	Blattbreite		
Neon	5,9 cm	4,3 cm	5,3 cm	7,4—9,5 cm	15,6
Natrium . . .	4,5 cm	3,2 cm	4,3 cm	3,2—6,8 cm	25,0
Quecksilber. .	5,8 cm	4,5 cm	6,1 cm	5,7—8,1 cm	19,8

Wegen der kleinen Zahl von Pflanzen und ihres mangelhaften Gesundheitszustandes können die Unterschiede in den Pflück- und Messzahlen nicht ganz auf den Unterschied in der spektralen Zusammentsetzung der verschiedenen Lichtquellen zurückzuführen sein. Die Fruchtzahl ist bei Natrium am grössten, es befinden sich hierunter jedoch viele kleine Früchte.

Trotz alledem ist aber der Unterschied zwischen den bestrahlten und den unbestrahlten Pflanzen so augenfällig, dass an der tagesverlängernden Wirkung des starken Neon-, Natrium- und Quecksilberlichtes kein Zweifel besteht. Das negative Ergebnis des schwachen Quecksilberlichtes des vorigen Versuchs (XVII) muss also einer zu niedrigen Intensität zugeschrieben werden. Sowohl bei Quecksilber- wie bei Neonlicht erweist sich jedoch eine höhere Intensität zur Tagesverlängerung erforderlich als bei Glühlampenlicht. Das ist jedoch kein Nachteil, da zwecks hinreichender Fruchtbildung die Beleuchtung für alle Lichtquellen doch stärker sein muss, als es zur Tagesverlängerung unbedingt erforderlich wäre. Eine verhältnismässig starke Beleuchtung ist nämlich zur Förderung der Kohlensäureassimilation notwendig, was für eine gute Fruchtansetzung unentbehrlich zu sein scheint. *Der Längenwuchs infolge der Tagesverlängerung ist bei höheren Lichtstärken für die verschiedenen Gasentladungslampen praktisch gleich.* Es liegt die Vermutung nahe, dass das kurzwellige Infrarot, an dem die Glühlampenstrahlung so reich ist, bei den Gasentladungslampen erst eine ausreichende Intensität erlangt, wenn mit verhältnismässig starken Beleuchtungen gearbeitet wird.

Der Längenwuchs bei Erdbeeren wird bei Tagesverlängerung auch mit intensivem Quecksilberlicht stark gefördert. *Irgendein hemmender Einfluss der blauvioletten Strahlen ist nicht festzu-*

stellen, so dass sich die Annahme, als ginge ein Kurztageffekt von blauviolettem Licht aus, als nicht stichhaltig erweist.

3. Winterblühende Begonie (*B. hiemalis*) und Chinesische Aster (*Callistemma chinensis*).

VERSUCH XIX und XX.

Natrium-, Überhochdruckquecksilber- und Glühlampenlicht.

1937—1938.

Mit einer ähnlichen Anordnung wie beim vorigen Versuch wurde im warmen Treibhausabteil ein Versuch mit Mutterpflanzen der winterblühenden Begonienvarietät Optima und mit pikierten Sämlingen der chinesischen Aster Reine des Halles ausgeführt (Abb. 11). Die Beleuchtungen auf den vier Abschnitten waren jedoch abgeändert, nämlich in:

Fach 1: 2 Glühlampen von 40 Watt (220 Volt, Arga, Klarglas)
2: 1 Überhochdruck-Quecksilberdampflampe von 75 Watt (Philora HP 300)
3: Luftheizung von 100 Watt
4: 1 Natriumröhre von 100 Watt (SO 650).

Die Lampen hingen alle in einem Abstande von etwa 55 cm über dem Blatt der Begonienpflanzen, so dass bei den Glühlampen in dieser Höhe durchschnittlich 270 HLux verabreicht wurden. Die Intensität des sichtbaren Lichtes betrug unter den Glühlampen etwa 1700 Erg/sec. cm^2 und unter der Natriumlampe etwa 3100 Erg./sec. cm^2.

Für das Überhochdruck-Quecksilberlicht war der Lichtmesser noch nicht geeicht, eine Beleuchtungsstärke dafür kann daher nicht angegeben werden. Die verschiedenen Beleuchtungen waren nicht alle gleich. Die Intensität des Natriumlichtes war etwas hoch, doch konnte die Lampe unmöglich höhergehängt werden, weil sonst das direkte Licht auf das nebenliegende unbestrahlte Fach gefallen wäre. Dieses erhielt durch Reflexion ohnehin schon einen geringen Anteil Natriumlicht, nämlich etwa 25 Erg/sec. cm^2, eine Intensität die bei dieser Lichtart von geringer oder keiner Bedeutung ist.

Weiter wurde danach gestrebt, die Temperaturerhöhung durch die Bestrahlung auf den verschiedenen Fächern möglichst aneinander anzugleichen. Bei den Glühlampen betrug sie etwa einen halben Grad mehr, so dass diese Beleuchtung auch nicht stärker gewählt werden konnte. Die Wattleistung je m^2 war jedoch etwa gleich der

unter der Quecksilberlampe, die beiden anderen Fächer hatten eine etwas höhere Wattzahl.

Die Bestrahlungsdauer betrug acht Stunden, jetzt jedoch zwecks leichterer Überwachung von Lampen und Schaltuhr von 17.00 bis 1.00 Uhr, also ungefähr im Anschluss an das Tageslicht. Die Treibhaustemperatur betrug durchschnittlich 18,5° C. (min. etwa 16°, max. etwa 21° C.), zudem waren die Heizungsröhren unter dem Beet eingeschaltet, so dass der Boden zusätzlich erwärmt wurde.

Begonia Optima. 26. November 1937.

Bei der Kultur winterblühender Begonien wird künstliches Licht bei Mutterpflanzen angewandt, um sie im Winter rasch gute Stecklingen entwickeln zu lassen, so dass früh zur Vermehrung übergegangen werden kann. Der im folgenden beschriebene Versuch sollte einen Eindruck hinsichtlich des Einflusses der Lichtkwalität auf das Auswachsen von Trieben geben, die als Stecklinge verwendet werden können. Im vorigen Jahre war bereits ein Versuch mit Neonlicht durchgeführt worden, so dass jetzt auf diese Lichtart verzichtet werden konnte, da grundsätzlich wenig Unterschied gegenüber Natriumlicht zu erwarten war.

Aus einer Partie von Pflanzen, die früh im Frühjahr 1937 als Stecklinge gepflanzt worden waren, wurden am 6. September 36 der schönsten und gesündesten ausgesucht und auf dem Seitenbeet des warmen Treibhausabteils eingegraben. Mitte Oktober stehen sie in voller Blüte, und am 25. November werden die Stiele mit Blüten abgeschnitten, um die Begonia als Mutterpflanzen zu verwenden. Diese werden in vier gleichwertige Gruppen je neun Stück sortiert und auf dem Seitenbeet durch Eternitplatten in vier Abschnitte eingeteilt.

Die Bestrahlung beginnt am 26. November 1937. Die Pflanzen machen nach dem Beschneiden einen hellgrünen Eindruck, da nun die älteren Blätter zum Vorschein kommen, die sich anfangs unter dem jüngeren Blatt versteckten. Nach 14 Tagen haben sich die Pflanzen wieder befriedigend gefärbt, obschon der Farbton auf den verschiedenen Fächern nicht derselbe ist. So sind die unbestrahlten Pflanzen am hellsten grün, unter dem Quecksilber- und dem Glühlampenlicht ist die Farbe etwa gleich, unter dem Natriumlicht ist das Grün wieder etwas dunkler.

Mitte Dezember fangen die Achselknopsen an zu treiben, die ersten Blättchen kommen zum Vorschein, sowohl an den höher wie an den tiefer sitzenden Achseltrieben. In allen vier Fächern tritt das Auswachsen der Knospen fast gleichzeitig ein.

Etwa einmal alle zwei Wochen werden die Töpfe mit einer Lösung von A.S.F.-Körnern (N 17 %, P 15 %, K 18 %), 4 Gramm je Liter, begossen, und zwar wird damit eine Woche nach dem Beschneiden angefangen.

Nach vierwöchiger Bestrahlung ist die Blattfarbe unter dem Glühlampenlicht ziemlich dunkelgrün, jetzt sind jedoch die Quecksilberpflanzen etwas dunkler und gleich denen unter Natrium. Die Kontrollpflanzen bleiben am hellsten grün von allen Partien. Unter dem künstlichen Licht haben die jungen Triebe viel roten Farbstoff im Blatt, wodurch dieses mehr oder weniger braungrün ist. Vor allem ist das unter den Glühlampen der Fall. Den unbestrahlten Pflanzen fehlt dieser rote Farbstoff völlig.

Ende Dezember stellen sich die ersten Unterschiede in der Entwicklung ein. Unter Natrium- und Quecksilberlicht wachsen die Sprossen am kräftigsten, die zweiten Blätter strecken sich bereits. Bei den Kontrollpflanzen und unter den Glühlampen ist erst das erste Blatt so weit. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Glühlampenabschnitt infolge seiner Lage am Ende des Beetes leider etwas weniger Bodenwärme erhält.

Am 13. Januar wird der Tatbestand für jede Pflanze getrennt genau aufgenommen und werden die Sprossen gezählt, die weit genug entwickelt sind, um als Stecklinge dienen zu können.

Die gefundenen Daten sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

13. Januar 1938 Begonia Optima	Kontrolle	Natrium	Quecksilber	Glühlampen
Steckling				
Anzahl je 9 Pflanzen .	47	82	93	71
Qualität . .	schlecht	gut	gut	mässig
Stengel . .	dünn	kräftig	kräftig	dünn
Farbe . . .	hellgrün	tiefgrün	tiefgrün	grün
junges Blatt				
Breite, cm .	3,5	4,5—5	5	4—4,5
Länge, cm .	1,5	2,5	2,5	2,5
Menge . . .	wenig	viel	viel	ziemlich viel
Blüten				
geöffnet . .	18	5	15	20
in Knospe .	viel	wenig	ziemlich viel	viel

Offenbar wird durch das künstliche Licht die *Entwicklung von Trieben, die als Stecklinge geeignet sind, erheblich gefördert.* Im

Natrium- und Quecksilberlicht ist das Ergebnis am günstigsten, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Intensität des Lichtes hier grösser ist als bei den Glühlampen. Hieraus könnte jedoch gefolgert werden, dass nicht nur die *forcierende Wirkung von infraroten Strahlen* eine rasche Entwicklung der Stecklinge ermöglicht, sondern dass eine *gesteigerte Kohlensäureassimilation* einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Stecklinge hat. Auffallend ist die kleine Zahl der Blüten und Blütenknospen bei Natriumlicht, während der Unterschied der Kontrollpflanzen gegenüber Quecksilber und Glühlampen gering ist. Die Bestrahlung endet am 29. Januar.

Inzwischen werden die Stecklinge an den Pflanzen gelassen, um die Weiterenwicklung der Blüten zu beobachten (Abb. 12). Am 10. Februar wird die Zahl der blühenden Triebe und der offenen Blüten bestimmt. Diese Zahlen waren je neun Pflanzen:

10 Febr. 1938 Begonia Optima	Kontrolle	Natrium	Quecksilber	Glühlampen
blühende Triebe	100	59	83	70
offene Blüten .	219	88	.157	154

Nun zeigt sich, dass die *Blüte bei den unbestrahlten Pflanzen doch am stärksten* geworden ist.

Es besteht also die Möglichkeit, dass die kurzen Wintertage die Blütenproduktion beeinflusst haben. Von einer völligen Unterdrückung der Blütenbildung durch einen künstlichen Langtag war jedoch keine Rede.

Es bleibt noch die Frage, ob es sich hier wirklich ausschliesslich um eine Frage der Tageslänge handelt. Die Intensitäten der drei Lichtarten waren so hoch, dass Unterschiede in der tagesverlängernden Wirkung ausgeschlossen sind. Trotzdem liefert das Natriumlicht, das bei diesem Versuch die stärkste Assimilation gegeben haben dürfte (hohe Intensität!) die geringste Blüte. Das könnte eine Folge einer mehr vegetativen Entwicklung durch gesteigerte Kohlensäureassimilation in Verbindung mit der Langtagwirkung sein. Auch die Zahl der sichtbaren Blütenknospen ist bei Natrium nicht gross.

Die Kontrollpflanzen behalten das dürftigste Äussere. Trotz der reichen Blüte haben sich nur wenig neue Blätter entwickelt.

Chinesische Aster. 24. Dezember 1937.

Die für die Tageslänge äusserst empfindliche chinesische Aster, die nach WITHROW bereits bei einer Beleuchtungsstärke von nur 3 Lux eine Langtagwirkung zeigt, ist eine sehr geeignete Pflanze für die photoperiodische Untersuchung. Schon verschiedentlich benutzte ich dieses Gewächs zu Versuchen, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann. Diesmal wurde jedoch ein orientierender Versuch unter verschiedenfarbigem Licht durchgeführt, wobei im Jugendstadium der Pflanzen bestrahlt wurde.

Am 8. Dezember 1937 wird die Varietät Reine des Halles in das warme Treibhausabteil gesät, wobei der Saatschüssel in ein mit Glas bedecktes elektrisch geheiztes Beet bei einer Temperatur von 20 bis 23° C. gesetzt wird. Am 13. Dezember beginnt die Keimung. Am 24. Dezember kommen die Pflanzen nach dem Pikieren unter die Lampen. Auf jedem der vier Abschnitte wird zwischen die Begonia Optima ein Topf mit Asternpflanzen gesetzt. Der Abstand bis zur Lampe beträgt 65 cm. Die Intensität des künstlichen Lichtes wird für jeden Topf getrennt gemessen und beträgt für Natrium 2900, für Glühlampen 2100 Erg/sec. cm^2. Die Treibhaustemperatur ist natürlich dieselbe wie beim Begonienversuch, nämlich 18,5° C. Nach vierzehntägiger Bestrahlung ist zu sehen, dass vor allem unter den Glühlampen die Pflanzen lang werden. Das erste und das zweite Internodium strecken sich. Unter Quecksilber- und Natriumlicht ist nur das erste Internodium zu sehen. Die unbestrahlten Pflanzen bleiben trotz der Wärmestrahlung ganz gedrungen, keines der Internodien streckt sich. Die Blattflächen sind hier schmal, während sie unter dem Natrium am breitesten sind.

Es wird bis zum 29. Januar bestrahlt, also während gut eines Monats. In dieser Zeit erhalten die drei bestrahlten Gruppen eine Tageslänge von acht bis neun Stunden Tageslicht zuzüglich acht Stunden künstliches Licht, insgesamt also 16 bis 17 Stunden. Das entspricht in etwa den längsten Sommertagen auf unserem Breitengrad 52°. Im Februar bekommen alle Asternpflanzen wieder den natürlichen kurzen Tag von neun bis elf Stunden.

Die durch die Bestrahlung herbeigeführten Unterschiede sind Anfang Februar sehr deutlich (Abb. 13). Die Blattfarbe ist am dunkelsten unter Natrium, dann folgen Quecksilber und Glühlampen; die Kontrollpflanzen sind am hellsten grün. Die Natriumpflanzen sind am kräftigsten entwickelt, die Blätter sind fest und breit. Die Blattgrösse nimmt in der Reihenfolge: Natrium, Quecksilber, unbestrahlt, Glühlampen, ab. Die unbestrahlten Pflanzen sind gedrungen, sie bilden Blattrosetten; die Pflanzen unter Glühlampen-

licht sind dünn und verspillert, die Quecksilberpflanzen sind zwar ebenfalls lang, jedoch kräftiger.

Mitte Februar werden aus jedem Topf 12 Pflanzen in eine grosse Saatschüssel umgepflanzt. Am 28. Februar sind bereits verschiedene Blütenknospen zu sehen, nämlich an 10 Glühlampen-, 9 Quecksilber- und 3 Natriumpflanzen. Bei den Kontrollpflanzen ist dagegen keine einzige Blütenknospe zu sehen. Auch drei Wochen später, am 21. März, wenn die anderen Partien offene Blüten zeigen, haben die Kontrollpflanzen noch immer keine Knospen. Sie entwickeln sich zu gut gefüllten Blattrosetten, aus denen fortwährend neue Blätter zum Vorschein kommen.

Alle Pflanzen, die in ihrer Jugend künstliches Licht erhielten, haben jetzt Blütenknospen oder offene Blüten. Die Blüte der Natriumpartie fällt später als die der Glühlampen- und Quecksilbergruppe. Die Mehrzahl der Natriumpflanzen hat eine Blattrosette gebildet, aus der die Blütenknospe zum Vorschein kommt. Von dem Auftreten von Blütenknospen abgesehen, besteht also grosse Ähnlichkeit mit den unbestrahlten Pflanzen.

Es kann kein Zweifel mehr darüber bestehen, dass die Intensität des Natriumlichtes reichlich genügt hat, um eine Langtagwirkung zu gewährleisten. Darin kann somit die Neigung zur vegetativen Entwicklung bei den Natriumpflanzen nicht gesucht werden. Die kräftige Entwicklung deutet jedoch auf eine stärkere Kohlensäureassimilation als bei den Dosen der anderen Lichtarten. Hieraus würde folgen, dass die stärkere Blattenwicklung durch gesteigerte Kohlensäureassimilation die Blütenbildung verzögert.

Durch die Quecksilber- und von allem durch die Glühlampenbestrahlung ist die Mehrzahl der Pflanzen klein geblieben. Sie bestehen aus einem beblätterten Stengel, der in eine Blüte ausläuft. Sie sind also eigentlich ohne Rosettenbildung vom Keimlingsstadium aus unmittelbar durchgewachsen und in der kürzestmöglichen Zeit zur Blütenbildung übergegangen. Dieser Unterschied gegenüber den beiden anderen Gruppen kann auf die stärkere Streckung der Quecksilber- und Glühlampenpflanzen in ihrer Jugend zurückgeführt werden, wodurch die Bildung von Blattrosetten verhindert wurde. Es besteht hier also tatsächlich ein Missverhältnis zwischen dem tagesverlängernden und dem assimilationsfördernden Einfluss, wodurch die Pflanzen vorzeitig zum Blühen übergehen, ohne erst genügend Blätter entwickelt zu haben. Die Blüten sind denn auch klein, sie haben nur einige Kränze von Strahlen. Die Zahl dieser schwach entwickelten, am frühsten blühenden Pflanzen ist bei Glühlampen 10 und bei Quecksilber 9, bei Natrium 3 (Abb. 14).

Infolge Einstellung der Versuche wurde die Blüte der unbe-

strahlten Partie nicht mehr abgewartet. Anfang April hatte diese noch keine Blütenknospe, so dass sie erst zum Sommer zum Blühen gekommen wäre.

Es hat sich also als möglich erwiesen, *chinesische Astern durch eine Langtagbehandlung in der Jugend sehr früh zum Blühen zu bringen.* Dabei ist jedoch gleichzeitig für eine ausreichende Blattentwicklung zu sorgen, wenn man eine brauchbare Pflanze züchten will. Infolge dieser Jugendblüte sind die chinesischen Astern als Topfpflanzen zu gebrauchen.

D. SCHLUSSBETRACHTUNGEN.

Aus den in obigem beschriebenen Ergebnissen geht hervor, wie vielgestaltig die Lichteinflüsse sind. Die Bedeutung der spektralen Zusammensetzung lässt sich nicht mit einigen Worten beschreiben. Es ist denn auch nicht zu verantworten, wenn verschiedene Verfasser nach einem einzigen Versuch ein allgemeines Urteil über die Wirkung der von ihnen benutzten Lichtquellen fällen zu dürfen glauben. Unsere Kenntnis hat sich dermassen entwickelt, dass wir uns nicht mehr mit einer Berücksichtigung der Kohlensäureassimilation allein begnügen können. An dem Punkt war die künstliche Pflanzenbestrahlung gegen 1930 angelangt. Es wurden damals bei der praktischen Anwendungen noch fast ausschliesslich starke Beleuchtungen benutzt, weil man am meisten auf die Assimilation achtete. Für die Praxis brachten diese hohen Intensitäten jedoch zu grosse Kosten mit sich, so dass die Lösung mehr und mehr in Richtung der schwachen Beleuchtungen gesucht wurde. Die Intensitäten wurden dann jedoch oft so niedrig gewählt, dass sie für die Kohlensäureassimilation nicht mehr viel Bedeutung haben konnten, während trotzdem bemerkenswerte Erfolge erzielt wurden. Hier trat der Tageslängeneinfluss in den Vordergrund, der jetzt in unseren Betrachtungen eine mindestens ebenso grosse Rolle spielt wie die Kohlensäureassimilation. Es ist sehr verständlich, dass sich nun auch die Anforderungen bezüglich der spektralen Zusammensetzung des zu verwendenden künstlichen Lichtes änderten. Es wäre jedoch ebenso einseitig, ausschliesslich diese Faktoren bei der Beurteilung der Lichtquellen in Rechnung zu setzen. Schon 1930 habe ich auf die stark forcierende Wirkung der infraroten Strahlen der Glühlampen hingewiesen. Jetzt erfordert aber auch die spezifische Wirkung blauvioletten Lichtes auf den Habitus der Pflanzen grössere Beachtung.

Berücksichtigen wir lediglich die vier genannten Lichteinflüsse,

deren praktische Bedeutung sich erwiesen hat, so fällt die Wahl der Lichtquellen schon recht verschieden aus.

Der Wert der verschiedenen Lichtarten für die *Kohlensäureassimilation* ist nur richtig zu beurteilen, wenn man die absolute Energie des sichtbaren Lichtes (Erg/sec. cm^2) berücksichtigt. Auf dieser Grundlage verglichen, ergibt *Neonlicht* die am stärksten entwickelten Pflanzen. Ihm folgen Natrium- und Glühlampenlicht, während das Quecksilberlicht, nach der produzierten Menge Pflanzensubstanz bei gleicher Lichtenergie zu urteilen, die geringste Assimilation gibt.

Für die Praxis ist ein Vergleich auf Grund der installierten Leistung (Watt je m^2) brauchbar. Auch dann steht das Neonlicht an der Spitze und kommt das Quecksilberlicht in Bezug auf den Assimilationswirkungsgrad an letzter Stelle. Der Unterschied zwischen Neon- und Natriumlicht ist dann nur klein, weil die hohe Lichtausbeute der Natriumlampe den niedrigeren Assimilationswirkungsgrad ausgleicht.

Anders verhält es sich mit dem Wert der Lichtquellen hinsichtlich der *Tageslänge.* Bei niedriger Intensität (200 Erg/sec. cm^2) hat *Glühlampenlicht* die stärkste tagesverlängernde Wirkung. Neonlicht steht hinter Glühlampenlicht zurück, während Quecksilberlicht praktisch keine Wirkung mehr zeigt. Bei höheren Intensitäten (oberhalb etwa 2000 Erg/sec. cm^2) haben Neon-, Natrium- und auch Quecksilberlicht dieselbe tagesverlängernde Wirkung wie Glühlampenlicht. Bei einer Beleuchtung, die für die Assimilation stark genug erachtet werden darf, sind die Unterschiede in der Tageslängenwirkung zwischen den verschiedenen Lichtquellen verschwunden. Ebenso wie für die Lichtintensität, gilt also auch für die Lichtqualität, dass bei hinreichender Beleuchtungsstärke die Tageslängenwirkung ausschliesslich von der Bestrahlungsdauer abhängt. Bei der in der Praxis angewandten Neonbeleuchtung ist die Intensität schon im Hinblick auf die Assimilation so hoch gewählt, dass die grösste Tageslängenwirkung erreicht wird. Der tagesverlängernde Einfluss ist dann gleich dem von schwachen Glühlampenlicht.

Es besteht also Grund zu der Vermutung, dass das kurzwellige Infrarot die stärkste Tageslängenwirkung besitzt. Langwellige Wärmestrahlen einer elektrischen Luftheizung bleiben wirkungslos. Glühlampen, mit einem Überschuss an kurzwelligem Infrarot, wirken gerade sehr stark. Würden jedoch, wie im Schrifttum angenommen wird, rote Strahlen am stärksten photo-periodisch wirken, so hätte das Ergebnis mit schwachen Neonlicht besser sein müssen als mit Glühlampenlicht.

Für eine volle Tageslängenwirkung ist jedoch ein etwa zehnmal so starkes Neonlicht erforderlich wie Glühlampenlicht. Die Intensitäten der sehr kurzwelligen infraroten Strahlen verhalten sich bei diesen Lichtquellen gerade umgekehrt zueinander. Neonlampen senden nämlich noch eine geringe Menge dieser Strahlen aus, die bei starker Beleuchtung eine Intensität erreichen, die derjenigen von schwachem Glühlampenlicht gleichwertig ist (ROODENBURG und ZECHER 1936, Abb. 2). Das langwellige Infrarot (oberhalb etwa 3000 Millimikron) ist bei Neonröhren viel stärker als bei den Glühlampen, so dass auch hieraus schon wieder folgt, dass dieses Wellenlängengebiet keine photoperiodische Wirksamkeit haben kann. So bleibt also von selbst zwischen diesem und dem roten Teil des Spektrums das Gebiet übrig, das eine starke Tageslängenwirkung besitzen muss. Das Maximum wird dann in der Nähe von 900 Millimikron gesucht werden müssen, also sehr nahe am sichtbaren Rot. Ein Maximum zwischen 650 und 750 Millimikron, wie es im Schrifttum erwähnt wird, reimt sich nicht mit der spektralen Zusammensetzung von Neon- und Glühlampenlicht. Ebensowenig ist das bei Natriumlicht der Fall, das zwischen 650 und 750 Millimikron keine Spektrallinien hat, wohl aber im kurzwelligen Infrarot bei 818, 1140 und 2200 Millimikron, die zusammen eine Intensität von etwa 40 % der sichtbaren Natriumlinie bei 589 Millimikron besitzen. Bei Quecksilberlicht sollte man wegen des fast völligen Fehlens des roten Teiles des Spektrums keine tagesverlängernde Wirkung erwarten. Es wird jedoch auch hier eine Langtagwirkung erreicht, wenn nur die Intensität genügt. Die Quecksilberlampen senden einen nicht unbeträchtlichen Anteil kurzwelliges Infrarot aus, wodurch der tagesverlängernde Effekt starken Quecksilberlichtes erklärt werden könnte.

Von dem vorhergehenden ist der formative Einfluss des Lichtes, der als *Blaulichteffekt* bezeichnet werden könnte, scharf zu unterscheiden. Naturgemäss hat das *Quecksilberlicht* dafür die beste spektrale Zusammensetzung. Beim Züchten ohne Tageslicht stellen sich bei viele Pflanzen in ausschliesslichem Neon- oder Natriumlicht Erscheinungen eines Blaulichtmangels ein. Das ist in geringerem Masse bei Glühlampenlicht der Fall, welches immerhin noch eine geringe Menge blauvioletter Strahlen enthält, dessen Überschuss an infraroten Strahlen den Pflanzen jedoch trotzdem eine unharmonische Form verleiht. In ausschliesslichem Quecksilberlicht entwickelt sich der „Tageslicht" habitus, die Pflanzen bleiben aber infolge der zu geringen Assimilation zu klein. Eine Mischung von Neon- und Quecksilberlicht wird also bei der Kultur in dunklen Räumen die besten Ergebnisse zeitigen. Die ergänzende Dosis

blauen Lichtes braucht dabei wahrscheinlich nicht gross zu sein. Welche Art des Quecksilberlichtes, Niederdruck-, Hochdruck- oder Überhochdrucklicht, verwendet wird, macht keinen grundsätzlichen Unterschied aus. Die Wahl fällt von selbst auf die Lampe mit der höchsten Lichtausbeute, also auf die Überhochdrucklampe. Bei ergänzender Beleuchtung in den Nachtstunden in einem normalen Treibhaus braucht man kein blaues Licht zu verabreichen und kann man z.B. unbedenklich Neonlicht benutzen, weil das Tageslicht sogar in den dunklen Wintermonaten offenbar schon eine angemessene Dosis blauvioletter Strahlen liefert.

Bei der Treibhauskultur junger *Tomatenpflanzen* brachte die Verabreichung künstlichen Lichtes in den Nachtstunden die Schwierigkeit mit sich, dass auf dem Blatt zwischen den Adern gelbe Flecken erschienen. Alle untersuchten Lichtquellen riefen diese Erscheinung hervor, wenn die Treibhaustemperatur hoch war. Nur durch eine niedrige Treibhaustemperatur (etwa 13° C.) konnten gesunde Pflanzen gezüchtet werden. Eine bestimmte Vorliebe für eine der Gasentladungslampen bestand in dieser Hinsicht demnach nicht. Auch das Quecksilberlicht führte zu keiner Verbesserung. Mit dem Blaulichtmangel haben die gelben Flecken mithin nichts zu tun. Trotzdem nimmt in Quecksilberlicht das Tomatenblatt ein schöneres Äusseres an, es wird nämlich flacher gestrekt. Wahrscheinlich hängt dies wohl mit einer Blaulichtwirkung zusammen. Neon- und Natriumlicht führen jedoch die schnellste Entwicklung herbei.

Erdbeerpflanzen, die den Winter im Freien verlebt haben, zeigen beim Forcieren im Frühjahr keine Stockung des Wachstums. Sie sind dann unempfindlich für die Tageslänge und wachsen sowohl mit wie ohne künstliches Licht normal aus. Nur der Längenwuchs ist noch verschieden, und zwar am stärksten bei Glühlampenlicht. Diese Wachstumsreaktion ist mit derjenigen vergleichbar, welche Erdbeerpflanzen im Herbst zeigen, wenn sie durch eine Langtagbehandlung im Oktober verhindert werden, in Winterruhe zu gehen. Im Herbst besteht die Tageslängenempfindlichkeit also wohl und ist der Einfluss schwachen Glühlampenlichtes sehr überraschend. Die Pflanzen wachsen durch und blühen ausgiebig, die Fruchtbildung lässt jedoch sehr zu wünschen übrig. Dazu ist auch noch eine gesteigerte Kohlensäureassimilation erforderlich, so dass dann starkes Licht doch nicht entbehrt werden kann. Bei starker Beleuchtung sind die Unterschiede zwischen den Gasentladungslampen für das Forcieren von Erdbeeren im Herbst nicht wesentlich.

Trotzdem sind die Verhältnisse im Hinblick auf Assimilation und Tageslänge nicht immer so einfach auseinanderzuhalten, was sich

bei der Bestrahlung von Mutterpflanzen der *winterblühenden Begonien* und der Sämlinge von *chinesischen Astern* zeigte. Der Längenwuchs der Stengel liess sich hier wieder durch einen künstlichen Langtag fördern. Die Blattentwicklung verlief parallel den Unterschieden in der Assimilation. Die Blüte war bei den chinesischen Astern stark und bei den Begonien in geringem Masse von der Tageslänge abhängig. Doch waren auch Unterschiede in der Kohlensäureassimilation noch von Einfluss auf die Blüte, insofern nämlich, als bei der stärksten Assimilation eine mehr vegetative Entwicklung auftrat, welche die Blüte einigermassen unterdrückte. Wir sehen hier also das Gegenteil des bekannten Erscheinung des „Blühens aus Armut", die nicht mit der Tageslänge, sondern ausschliesslich mit dem Ernährungszustand der Pflanze zusammenhängt. Die vorzeitige Blüte der Astern unter dem Einfluss der Tagesverlängerung hat dagegen mit Unterernährung wieder nichts zu tun. Denn beim natürlichen kurzen Tag lässt die vegetative Entwicklung nichts zu wünschen übrig.

ZUSAMMENFASSUNG.

1. Die Angaben des *Schrifftums* über die Wirkung verschiedenfarbigen Lichtes auf das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen weisen starke Widersprüche auf. Erstens ist dies auf grosse Unterschiede in der Dosierung der farbigen Lichtarten infolge falsch bewerteter Lichtmessungen durch unzulängliche physikalische Unterlagen zurückzuführen. Zweitens wurde oft versäumt, scharf zu unterscheiden zwischen den verschiedenen Lichtwirkungen, wie CO_2-Assimilation, Forcieren, Tageslänge und Blaulichteffekt, für welche die Pflanzen eine sehr unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit besitzen. Schliesslich ist es erforderlich, bei der Beurteilung die in ausschliesslich künstlichem Licht erzielten Ergebnisse von den in künstlicher Beleuchtung in Verbindung mit Tageslicht erreichten streng zu trennen.

2. Meine Versuche mit Natrium- und Quecksilberlampen unter Ausschluss des Tageslichtes haben bewiesen, dass Natrium- und Quecksilberlicht einen niedrigeren Assimilationswirkungsgrad haben als Neonlicht. Trotzdem kann mit *Natriumlicht* bei hoher Beleuchtungsstärke derselbe Erfolg erzielt werden wie mit Neonlicht von niedrigerer absoluter Intensität. Ein prinzipieller Unterschied in der Wirkung infolge eines Unterschiedes in der

spektralen Zusammensetzung wurde nicht beobachtet. Auch Natrium wirkt wie eine Lichtart, in welcher Kohlensäureassimilation möglich ist, der jedoch die Blaulichtwirkung fehlt.

3. Demgegenüber steht das *Quecksilberlicht*, in welchem die Assimilation geringer, der formative Einfluss der blauvioletten Strahlen hingegen stark genug ist, um in ausschliesslich künstlichem Licht Pflanzen mit normalen Äusseren zu züchten. Für eine rasche Entwicklung unter Ausschluss des Tageslichtes ist jedoch im Hinblick auf die CO_2-Assimilation eine beträchtlich höhere Lichtstärke erforderlich als die hier benutzte. Die festgestellten wirkungsmässigen Unterschiede zwischen der Niederdruck-, Hochdruck- und Überhochdruck-Quecksilberlampe sind nicht von grundsätzlicher Art und auf den Unterschied in der Lichtausbeute zurückzuführen.

4. Die praktischen Versuche mit jungen *Tomatenpflanzen* zeigten, dass bei künstlicher Bestrahlung in den Nachtstunden eine niedrige Treibhaustemperatur (durchschnittlich 13° C.) erforderlich ist, um gesunde Pflanzen ohne gelb gefleckte Blätter zu erhalten. Weder Natrium- noch Quecksilberlicht brachten eine Verbesserung der Fleckung zuwege, die also mit einem Blaulichtmangel nichts zu tun hat. Die Wachstumsförderung ist am geringsten im Quecksilberlicht, obgleich das Blatt der Pflanzen ein schöneres Äusseres annimmt als unter Neon- und Natriumlicht.

5. *Erdbeerpflanzen*, die für eine normale Blüte im Winter eine Langtagbehandlung von Anfang Oktober an verlangen, reagieren bei schwacher Beleuchtung am stärksten auf Glühlampen-, weniger auf Neon- und überhaupt nicht auf Quecksilberlicht (etwa 200 Erg/sec. cm^2). Bei starker Beleuchtung ist der tagesverlängernde Einfluss für alle Lichtquellen gleich (oberhalb etwa 2000 Erg/sec. cm^2). Die verwendeten Lampen geben dann denselben Streckungswuchs, und die blauvioletten Strahlen des Quecksilberlichtes haben keinen hemmenden Einfluss. Indessen ist zur guten Fruchtbildung eine hohe Intensität erforderlich, welche die CO_2-Assimilation fördert. Erdbeerpflanzen, die im Freien überwintert haben, zeigen beim Forcieren im Frühjahr trotz der geringen Tageslänge keine Wachstumsstockung. Der Längenwuchs entspricht jedoch der streckenden Wirkung der verschiedenen Lichtarten.

6. Die Entwicklung von Trieben, die als Stecklinge brauchbar sind, wird bei *winterblühenden Begonien* bei starker Beleuchtung durch alle Lichtarten erheblich gefördert. Wahrscheinlich tragen sowohl Assimilation wie Tageslänge hierzu bei. Die Blüte ist

beim kurzen Tag am stärksten, wird jedoch bei einem langen Tag (etwa 17 Stunden) nicht unterdrückt.

Im Winter gesäte *chinesische Astern* können durch eine Langtagbehandlung in der Jugend anormal früh zum Blühen gebracht werden. Diese Langtagwirkung wird auch wieder mit allen Lichtarten erreicht.

7. Die *Langtagwirkung* ist wahrscheinlich hauptsächlich auf die Wirkung infraroter Strahlen sehr kleiner Wellenlänge in der Nähe von 900 Millimikron zurückzuführen.

Laboratorium für Gartenbaupflanzenzucht
der landwirtschaftlichen Hochschule
Wageningen. Frühjahr 1939.

LITTERATUR.

ARTHUR, J. M. & W. D. STEWART: Relative growth and dry weight production of plant tissue under Mazda, Neon, Sodium, and Mercury vapor lamps.
1935, Contrib. Boyce Thompson Institute, Vol. 7, No. 2, p. 119—130.

—— & EDW. K. HARVILL: Plant growth under continuous illumination from Sodium vapor lamps supplemented by Mercury arc lamps.
1937, Contrib. Boyce Thompson Institute, Vol. 8, No. 5, p. 433—443.

DORGELO, E. G. & P. J. BOUMA: De natriumlamp.
1937, Philips Technisch Tijdschrift, Dec. 1937, Jaargang 2, nr. 12, p. 353—360.

DIJK, R. VAN: Gasontladingslampen.
1936, Electrotechniek, 3 Januari 1936, Jaargang 14, Nr. 1, p. 3—7.

FUNKE, G. L.: On the influence of light of different wave-lengths on the growth of plants.
1931, Recueil des trav. bot. néerl. Vol. XXVIII, Livr. 3 et 4, p. 431—485.

—— Over den groei van planten in verschillend gekleurd licht (English summary).
1934, Natuurwetenschappelijk Tijdschrift, 10 Januari 1934, Jaargang 15, nr. 8, p. 209—215.

—— Proeven over photoperiodiciteit bij verschillend gekleurd licht I, II en III.
1936—1937—1938, Biol. Jaarboek (Dodonaea), Jaargang 3, p. 225—260, Jaargang 4, p. 345—359, Jaargang 5, afl. 2, p. 404—424.

——: Over het kweken van planten bij Neonlicht I en II (English summary).
1936—1937, Mededeelingen der Landbouwhoogeschool en der Opzoekingsstations van den Staat, te Gent.
Juni 1936, Deel IV, Nr. 2, p. 67—90 und Maart 1937, Deel V, Nr. 1, p. 30—40.

HELLER, G.: De kwiklamp H P 300.
1936, Philips Technisch Tijdschrift, Mei 1936, Jaargang 1, nr. 5, p. 129—134.

HOOVER, W. H.: The dependance of carbon dioxide assimilation in a higher plant on wave length of radiation.
1937, Smiths. Misc. Coll., Vol. 95, No. 21, p. 1—13.

KATUNSKY, V. M.: Dependency of photoperiodic reactions of plants on the spectral composition of light.
1937, Compt. Rend. (Doklady) Acad. Sci. U.R.S.S., Jahrgang 15, no. 8, p. 509—512.
KÖHLER, W. & R. ROMPE: Die elektrischen Leuchtröhren.
1933, Sammlung Vieweg, Heft 110, Braunschweig.
MEURMAN, O.: Untersuchungen über die Bedeutung des Neon-Lichtes für Gewächshauskulturen.
1935, Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland. Vol. 7, p. 171—181.
LAX, E., M. PIRANI & R. ROMPE: Die Probleme der technischen Lichterzeugung.
1935, Die Naturwissenschaften, 21. Juni 1935, Jahrgang 9, H. 25, p. 393—405.
ODÉN, S.: Växtodling i elektriskt ljus.
1929, Meddelande fr. K. Landtbr. akad. (English summary), Vetenskapsavd. no. 1, Stockholm.
POESCH, G. H. & A. LAURIE: The use of artificial light and reduction of the daylight period for flowering plants in the greenhouse.
1936, Bulletin 559, Ohio Agric. Exp. Station, Wooster, Ohio (p. 21—33) — oder Proc. Amer. Soc. Hort. Sc. f. 1935, Vol. 33, 1936.
POPP, H. W.: A physiological study of the effect of light of various ranges of wave length on the growth of plants.
1926, Amer. Journ. of Botany 13, p. 706—736.
RAZUMOV, V. I.: The significance of the quality of light in photoperiodical response (Russ., English summary).
1933, Appl. Bot.; Genet. & Plant Breed. III, Ser. Phys., Bioch. & Anat. Plants 3, p. 217—251.
REINAU, E.: Pflanzen und Licht.
1934, „Das Licht" (Organ d. deutschen Beleuchtungs-techn. Gesellschaft E.V. Berlin), 15 Sept. u. 15 Okt. 1934, H. 9 u. 10.
REINHOLD, J.: Osram- und Neon-Belichtungsversuche zu Frühgemüsekulturen.
1935, Gartenbauwissenschaft, Bnd. 9, H. 6, p. 558—574.
ROODENBURG, J. W. M.: Kunstlichtcultuur (English summary).
1930, Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool, deel 34, Nr. 8.
—— Kunstlichtcultuur II. Over de noodzakelijke lichtintensiteit bij bestraling van planten en Neonbelichting bij bloemcultures (deutsche Zusammenfassung).
1932, Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool, deel 36, Nr. 2.
—— De invloed van kunstlicht op den lengtegroei van kasplanten.
1933, Handelingen van het XXIVe Nederlandsche Natuur- en Geneeskundig Congres, 1933.
—— & G. ZECHER: Pflanzenbestrahlung mit Neonlicht.
1936, Philips Techn. Tijdschrift, Juli 1936, Jaargang 1, Nr. 7, p. 193—199.
—— Strawberries under Neon light.
1936, Journal of the Royal Horticultural Society, Vol. LXI, Part 12, 1936.
—— Der Einfluss der Tageslänge im Zusammenhang mit der künstlichen Pflanzenbeleuchtung im Winter.
1937, Berichte der Deutsch. Bot. Gesellschaft, Jahrgang 1937, Bnd. LV, H. 1.
—— Die pflanzenphysiologischen Bedingungen für die Anwendung des künstlichen Lichtes im Gewächshaus.
1938, Internationaler Gartenbaukongress, Berlin 1938, Sektion 17.

SCHANZ, F.: Versuche über die Wirkung der ultravioletten Strahlen des Tageslichtes auf die Vegetation.
1920, Pflügers Archiv f. d. gesamte Physiologie, Bnd. 181, p. 229—248.
SCHAPPELLE, N. A.: Effect of narrow ranges of wave lengths of radiant energy, and other factors, on the reproductive growth of long-day and short-day plants.
1936, Cornell Univ. Agric. Exp. Station, Januar 1936, Memoir 185.
SMITH, F.: Glödlampsljus, neonljus och natriumängljus som tellskott till det naturliga dagsljuset.
1936, Allmän Svensk Trädgårdstidning, 1 Juli 1936, no. 13, p. 397—399.
TEODORESCO, M. E.: Influence des différentes radiations lumineuses sur la forme et la structure des plantes.
1899, Ann. Sci. Nat. Bot. VIII, 10, p. 141—263.
—— Observations sur la croissance des plantes aux lumières de diverses longueurs d'onde.
1929, Ann. Sci. Nat. Bot. IX, 11, p. 201—335.
TJEBBES, K. & UPHOF, J. C. W.: Der Einfluss des elektrischen Lichtes auf das Pflanzenwachstum.
1921, Landwirtsch. Jahrb. 56, p. 313—326.
TRUMPF, CHR.: Ueber den Einfluss intermittierender Belichtung auf das Etiolement der Pflanzen.
1924, Bot. Archiv. 5, p. 381—410.
VOSS, J.: Ueber den Einfluss verschiedener Licht- und Strahlenarten auf die Entwicklung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen.
1936, Angew. Botanik, Januar/Feb. 1936, Bnd. XVIII, H. 1, p. 43—75.
WEIGEL, R. G. & O. H. KNOLL: Lichtbiologische Beeinflussung der Aufzucht von Gemüsepflanzen.
1936, „Das Licht", Bnd. 6, No. 10, p. 219—220, No. 11, p. 237—242, No. 12, p. 259—261.
WITHROW, R. W.: Light and its effects on plant growth.
1936, Agr. Engin., St. Joseph (Mich.) 17, No. 4, p. 150—152.
—— & BENEDICT, H. M.: Photoperiodic responses of certain greenhouse annuals as influenced by intensity and wavelength of artificial light used to lengthen the daylight period.
1936, Plant Phys. Vol. 11, no. 2, p. 225—249.
—— & BIEBEL, J. P.: Photoperiodic response of certain long and short day plants to filtered radiation as a supplement to daylight.
1936, Plant Phys., Vol. 11, no. 4, p. 807—819.